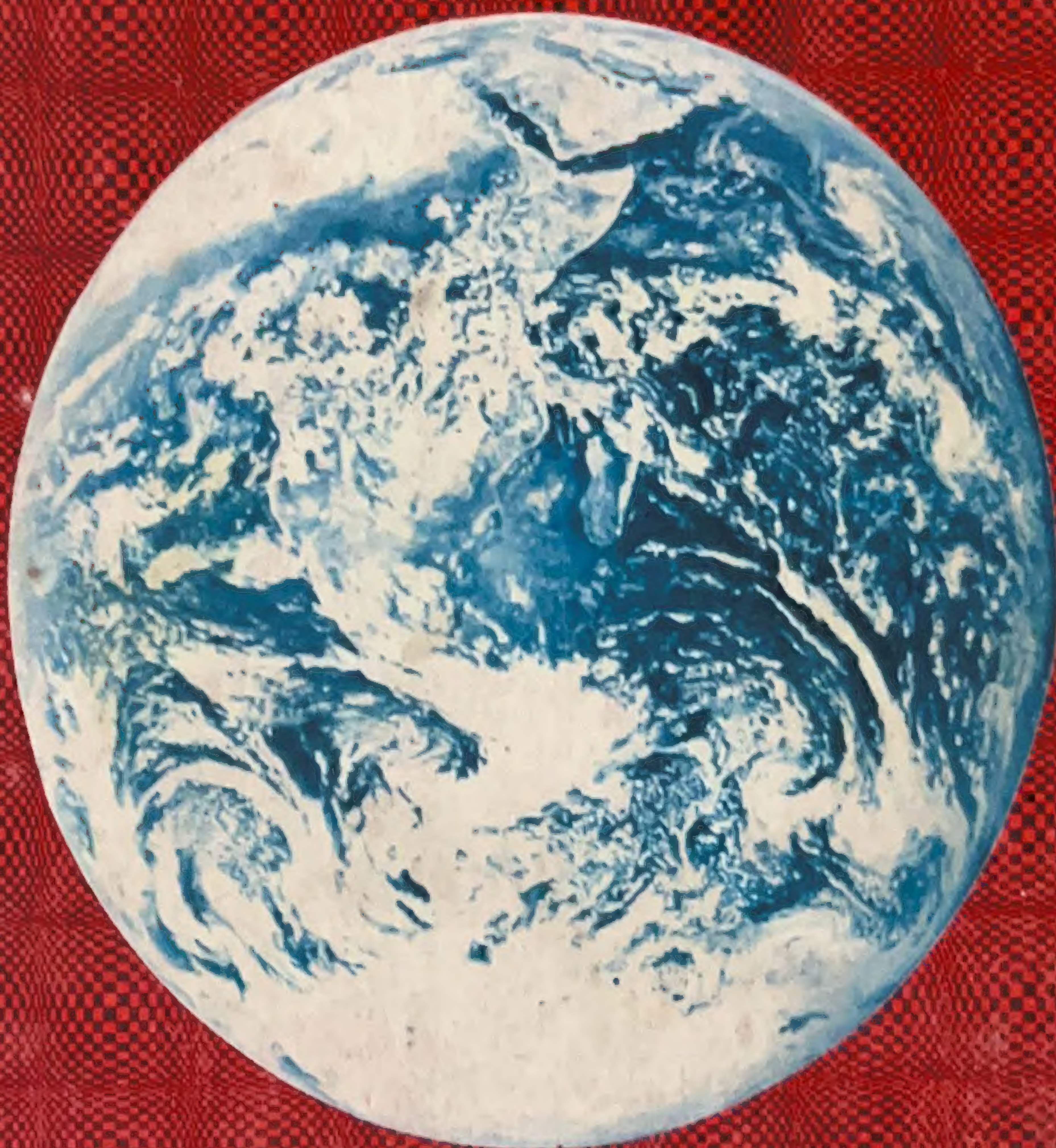


سلسلة المائة كتاب

نشأة الحياة على كوكب الأرض

ترجمة : يعقوب يوسف ابونا

مراجعة : د ريمون شكوري



نشأة الحياة على كوكب الأرض

البحث عن بداية الحياة

تأليف ويليام داي
تقديم (الاستاذة) لين مرغوليس

ترجمة

يعقوب ابونا

مراجعة د. ريمون شكوري

الطبعة الاولى - لسنة ١٩٨٩

سلسلة المئة كتاب



تصدر عن

دار الشؤون الثقافية العامة

رئيس مجلس الإدارة ورئيس التحرير

الدكتور محسن جاسم الموسوي

مفوق الطبع محفوظة

لصندوق ثقافة المراسلات

رئيس مجلس إدارة دار الشؤون الثقافية العامة

العنوان

الطبعة - ص ١٠٣٢ - ٢١٤١٣٥

العنوان البرقي - فاكس - تليفون ٤٤٣٦٠٤٤

بغداد - العراق



GENESIS ON PLANET EARTH
The Search for Life's Beginning

مسلسل اصول الاحياء



منظر الارض من الفضاء كما تم تصويره من المركبة ابولو في مهمة النزول على القمر الاخيرة من برنامج ابولو لوكالة الفضاء الامريكية ناسا

اعدت هذه الترجمة العربية عن الاصل الصادر اساسا باللغة الانكليزية
بمطبعة الثانية بعنوان:

لعام ١٩٨٤

William Day
Lynn Margulis

Yale University Press
New Haven and London
الترجم

لؤلؤه : ويليام داي
مع مقدمة بقلم لين مارجوليس
عن دار النشر : مطبعة جامعة يال
نيوهيفن ولندن

تشيف الاشكال

الغلاف وصدر الكتاب : منظر للارض من الفضاء كما تم تصويره من المركبة ابولو ١٧ في رحلة النزول على القمر الاخيرة من برنامج ابولو لوكالة الفضاء الامريكية ناسا.

١/١ - الجهاز الذي استخدمه ميلر لمحاكاة التمثيل ما قبل الحياتي للحوامض الامينية والبروتينات العضوية الاخرى.

١/٢ - نمو الجرف القاري لأمريكا الشمالية (مستنسخة باذن من جيه. بروكس J. Brookes و ج. شو G. Shaw في: «اصل وتطور المنظومات

الحية» الصادر عن مطبعة اكاديميك، ١٩٧٣).
١/٣ - التصنيف الخماسي للممالك للحياة (باذن من آر ايج ويتيكر R.H. Whittaker في: مجلة العلوم ١٦٣، ص ١٥٠-١٦٠، ١٩٦٩).

حقوق الطبع والنشر للجمعية الامريكية لتقدم العلوم ١٩٦٩).
١/٤ - السيانوبكتريا (غليوكابسا) مكبرة (٤٠٥٠٠) بالمجهر الالكتروني (باذن من ايج ستيفارث بنكراتس H. Stuartz Pankratz بجامعة ولاية

ميسيفان).
١/٥ - رسومات لقطعة من الفلين من كتاب هوك Hooke: الميكروغرافيا.

١/٦ - مقطع مستعرض لجزء رئيسي من خلية ثديية مرئي من خلال المجهر الالكتروني (باذن من دينيس او كالاجان Dennis O'Callaghan بالمرکز الطبي بجامعة ميسيسيبي. الصورة من قبل نان مانزفيلد Nan Mansfield).

٢/٦ - مخطط لخلية يوكاريوتية.
٢/٧ - صيغ بنوية للفلوكوز D-Glucose.

٢/٨ - رسومات لبلورات حامض الصاموريك تبين الاشباح المراتية للايسومرين اللامتناظرين الاثني.

١/٨ - صورة ضوئية مجهرية الكترونية لفيروس التؤلؤل البشري (باذن من دينيس او كالاجان بالمرکز الطبي بجامعة ميسيسيبي. الصورة من قبل نان مانزفيلد).

٢/٨ - بني الحوامض الامينية : ادينين وغوانين وثايمين وسيتوسين ويوراسيل.
٢/٨ - بني الريبوز والديوكسي ريبوز (Deoxynucleotide) : ريبوز قليل

الوكسين).
٤/٨ - بني الديوكسي نووتيد.

٥/٨ - جزء رباعي النووتيد من وهن من الذي ان اي يتالف من ديوكسي نووتيدات الادينين (A) والثايمين (T) والسيتوسين (C) والغوانين.

٦/٨ - ترتيب التزاوج النووتيدي في الذي ان اي.
١/٩ - البنية المقترحة الار ان اي ناقلة الالانين، والآر ان اي ناقلة التيروسين (من ماديسون والآخرين Madison et al في مجلة علوم ١٥٣، ص ٥٣١).

لعام ١٩٦٦. حقوق الطبع والنشر محفوظة للجمعية الامريكية لترقية العلوم (١٩٦٦).

٢/٩ - ايضاح للريبوسومات في البولي هضميتيدات التمثيلية (واطسون: علوم ١٤٠، ص ١٧، ١٩٦٣ - حقوق الطبع والنشر للجمعية الامريكية لترقية العلوم، ١٩٦٣).

٢/٩ - المدونة الجينية.

١/١٠ - جزيرة من الدنا الثاني الوهن الطولي (باذن دينس او كالاجان بالمرکز الطبي بجامعة ميسيسيبي. الصورة من قبل نان مانزفيلد).

٢/١٠ - مؤلف سياق الحوامض الامينية من ٢٠ سيتوكروم سي (مرغولياش Margoliash والآخرين et al في النشوء الجزئي جزء ٢ لشركة نورث هولاند للنشر، ١٩٧١).

٣/١٠ - شجرة التطور السلالي مبنية على السيتوكروم سي (عن اطلس سياق وبنية البروتين ١٩٧٢).

٤/١٠ - نموذج للدوق الفعالي للبروتين (هول والآخرين Hall في مجلة الطبيعة ٢٣٣، ص ١٢٨، ١٩٧١، حقوق الطبع والنشر لشركة دوريات ماكملان المحدودة ١٩٧١).

٥/١٠ - مقارنة بين سياقي الكلوستريديوم والكروماتيوم (هول والآخرين، في: النشوء الكيمياء واصول الحياة - شركة دي رايدل D. Reidel للنشر، ١٩٧٣).

٦/١٠ - بيت المدخل لقلعة هارليك.

٧/١٠ - كاتابيكيا بارغونيانا من ويلز (باذن من سانفورد سيفل Sanford Siegel جامعة هاواي).

١/١١ - اختراق الاشعاع ما فوق البنفسجي للماء بتوليفات مختلفة من اجواء الاوكسجين والاوزون (بركنر ومارشال Berkner and Marshall في: مناقولات اكاديمية العلوم الطبيعية ٥٣، ص ١٢٢١، لعام ١٩٦٥).

١/١٢ - شجرة التطور السلالي للبروكاريوت واليوكاريوت مبنية على سياقي الفريديوكسين والسيتوكروم سي (برناباس وشوارتز ودايهوف Barnabas, Schwartz- Dayhoff في: اصول الحياة ١٢، ص ٨٢، لعام ١٩٨٢).

٢/١٢ - تخطيط بياني للسلاسل الكبرى لمحتد البروكاريوت (فوكس والآخرين) Fox, et al في مجلة علوم ٢٠٩، ص ٤٥٩، لعام ١٩٨٠. حقوق الطبع والنشر للجمعية الامريكية لترقية العلوم ١٩٨٠).

١/١٣ - مخططات الطاقة لتفسخ اليوريا.

٢/١٣ - بنية مشتقات فوسفات الادينوسين.

٣/١٣ - التمثيل الجزيئي للفلوتامين.

١/١٤ - الطيف الكهرومغناطيسي.

٢/١٤ - بنية اليخضور ا.

٣/١٢ - ثنائي نووتيدادين النيكوتيناميد (NAD).

٤/١٤ - استخدام الالكترونات العالية الطاقة من اليخضور المنشط لاخترال
ثنائي فوسفات ادينين النيكوتيناميد المؤكسد (NADP ox) الى ثنائي

٥/١٤ - جيلة يخضور الطماطة كما هي مرئية من خلال مجهر الكتروني (باذن
من راندول اس بويان Randall S. Beaubien بجامعة ميشيغان
الحكومية).

٦/١٤ - تايض الكربوهيدرات بواسطة التنفس لانتاج ثلاثي فوسفات الادنوسين
ATP .

٧/١٤ - مقارنة بين النواتج او الحصائل (مفرد: حصة) الطاقة من تحلل
الغلوكوز الى حامض البيروفيك مقابل أكسدة البيروفات الى ثنائي
او كسيد الكربون والماء.

١/١٥ - التطور النشوي للفريوكسينات (هول والآخرين في: النشوء
الكيميائي الكوني واصول الحياة . شركة دي رايدل للنشر ١٩٧٣).

٢/١٥ - صورة ضوئية بالمجهر الالكتروني لجسيمة فيروس القوبا (فيرون
Virion . باذن دينيس او كالاغان بالمركز الطبي لجامعة ميسيسيبي .
الصورة من قبل آر. ابوديلي R. Abodeely ، من مجلة الفيرولوجيان،
ص ١٤٥، لعام ١٩٧٧).

١/١٦ - تفرسة ورقة البرسيم لدر ان اي الناقلة ثلاثين
(alanine transfer RNA)

١/١٧ - ترامر الناي امينومالو نيتريل
(diaminomaleonitrile tetramer (HCN tetramer)

١/١٨ - بنية الاتب ATP

١/١٩ - بنية ادينيلات الحوامض الامينية .

٢/١٩ - بلورة ادينيلات الحوامض الامينية في المونوموريلونيت (بيختهوروفيتس
Paecht Horowitz في: منظومات حيوية ٩، ص ٩٣ لعام ١٩٧٧).

٢/٢٠ - ثنائي هضميتية .

٢/٢٠ - الهضميتيات المتحدة بواسطة رابط ثنائي الكبريتيد والروابط
الهيدروجينية .

٤/٢٠ - بنية لولب الفا لبروتينة .

٥/٢٠ - تخطيط ايفاضي للبنية الاولى والثانوية والثالثية لبروتينة الجرثومة
مايوغلوين (آر. ثي. ديكرسن R.E. Dickerson من عملية تحليل بالأشعة

السينية وبنية البروتين، في: البروتينات، طبعة ثانية منقحة تحرير
ايچ نوراث H. Neurath المطبعة الاكاديمية ، ١٩٦٤، جزء ٢، صفحة
٦٢٢).

٦/٢٠ - سياق الحوامض الامينية في ليسوزيم آح البيض (كانفيلد وليو
Canfield and Liu، مجلة الكيمياء البيولوجية ٢٤، ص ١٩٩٧-٢٠٠٢،

عام ١٩٦٥).

٧/٢٠ - جزئة اليسوزيم (مخططة من قبل السير لورنس براغ-
Sir Lawrance Bragg

١/٢١ - فوسفور اميدات A phosphoramidate .

٢/٢١ - خماسي فوسفور اميدازول الادنوسين .

٣/٢١ - ثنائي وثلاثي فوسفات الادنوسين .

٤/٢١ - الآلية المفترضة لبلورة اول فوسفات الثيامين القليل الاوكسجين
(d-TMP) بالاميدازول (ابانيز والآخرين Ibanez et al في: النشوء

الكيميائي واصل الحياة ، شركة نورث هولاند للنشر ١٩٧١).

٥/٢١ - مخطط بياني لتمثيل جينة باستعمال بولي نووتيدات التجير بطريقة
خوبانا .

١/٢٢ - الانعقادات المدة من الجلائين والصمغ العربي (باذن جورج هيلدنبرانت
George Hildenbrandt من جامعة بنسلفانيا الحكومية).

٢/٢٢ - كريات مجهرية مكونة من البوليمر الحراري شبه البروتيني للحامض
الاميني الحامضي القلي في الماء (كنيون وشتاينمان Kenyon, Steinman

في: القدرة البيوكيميائية biochemical predestination ، من منشورات
مكمبر وهيل، ١٩٦٩).

١/٢٣ - وحدات بنوية اساسية للمنظومات البيولوجية .

١/٢٣ - المذيلات والدهنوسومة (حوصلة).

٣/٢٣ - مخطط بياني يوضح ماخذ الحوامض الامينية بواسطة الالدهايد
الى الحوصلة الدهنية (ستيابل Stillwell في: منظومات حيوية

Biosystems ٨ ، ص ١١١، لعام ١٩٧٦).

٤/٢٣ - النموذج المقترح لتكوين الحوصلات الثنائية المراحل بفصل التموج
على الرقائق السطحية (surface films) (كولديكرو والآخرين Goldacre et al

في: الظواهر السطحية في الكيمياء والبيولوجيا، مطبعة برغامون
١٩٥٨).

٥/٢٣ - حوصلات منتجة في مستخرج من تجربة افتعالية للتمثيل ما قبل
الحياتي للمركبات الدهنية (هارجريفز والآخرين Hargreaves et al

في مجلة الطبيعة ، ٢٢٦، ص ٧٨ لعام ١٩٧٧).

٦/٢٣ - خطوات افتراضية في نشأة الاغشية الحية (هارجريفز وديمر
Hargreaves and Deamer في: الاغشية الناقلة للضوء : بنيتها ووظيفتها

ونشاتها ، مطبعة الاكاديميك ١٩٧٨).

١/٢٤ - نموذج مقترح للفسفرة الضوئية باستعمال الضوء ما فوق البنفسجي
(جيه ستيلويل في: البيولوجيا النظرية ٦٥، ص ٤٧٩،

لانتاج الاتب (جيه ستيلويل في: البيولوجيا النظرية ٦٥، ص ٤٧٩،
عام ١٩٧٧).

- 1/25 - البريدوكسال والبيوتين
2/25 - مقترح سياق الأحداث المؤدية الى تكوين الخلية البيولوجية.
3/25 - صورة لشخص الاصيل في منطقة خروسة بلاثيا في الريخ التقطتها المركبة فايكنج الاولى بتاريخ 20 آب 1976 (بأذن من وكالة ناسا).
1/26 - بنية الفراميسيدين اس.
2/26 - مقارنة بين تمثيل الحامض الدهني والعضيتيد الالاهوتة (noncoded)
3/26 - مقارنة بين تمثيل الحامض الدهني والعضيتيد الالاهوتة (noncoded) على بعد (760000)
4/26 - الكوكب زحل مرئيا من اكبر اقماره، التيتان، على بعد (760000) ميل منه، كما تخيله الفنان تشيزلي بونستيل Chesley Bonestell
1/27 - سقوط نيزك انيسهايم في الالزاس في عام 1892.
2/27 - نيزك اورغيل (بأذن معهد سميثونيان بواشنطن دي سي)
3/27 - نيزك مرجيسون (بأذن متحف التاريخ الطبيعي بشيكاغو).
1/28 - رسم بياني بين مراحل النشوء الرئيسة المفضية الى الانسان.

كشف الجداول

- الزمن الجيولوجي والتشكيلات الجيولوجية.
1/2 - الفلزات الرئيسة في القشرة الارضية.
2/2 - المواد المتطايرة الموجودة الآن على سطح الارض او بالقرب منه والتي لا تفسرها التعرية الصخرية.
1/12 - الطاقة السائبة القياسية لحلمة المركبات الفوسفاتية.
1/15 - تضاعف افتراضي للجينة على فترات 188 مليون سنة.
2/15 - تركيبة الجرثومة ديالسترنيومو سنتيس.
1/16 - الفلزات البركانية.
2/16 - تركيزات المعادن الثقيلة المطلوبة كثيرا.
1/17 - الحصائل من تقديح خليط من H_2 و H_2O و NH_4 و CH_4
2/17 - اغلاء H_2 و $HCNNH_3$ و $HCHO$ و CH_3 و H_2O و C_2H_5CHO لمدة اسبوع واحد.
3/17 - المصادر الحالية للطاقة معدلة للارض كلها.
1/27 - جزينات وجدت في وسط ما بين النجوم.

مقدمة

اثناء الفصل الثاني من العام الدراسي 1978 وفي حومة مهمة تعليمية ضخمة، وردتني بريد الكتب نسخة من الطبعة الاولى من كتاب ويليام داي «نشأة الحياة على كوكب الارض». حتى آنذاك لم يكن الكاتب ويليام داي ولا دار النشر «طالوس» معروفين لدي كليا، ومن نظرة سريعة على صفحات الكتاب وجدت انه ينتشر هنا وهناك في التن صيغ التمثيل الضوئي والتنفس، كلها مطبوعة بالالة الطابعة اليدوية. بدا لي من الوهلة الاولى ان الصفحات مشحونة بعبارات من قبيل «نوع يعقب نوع وعتبة تلي عتبة في صعود متواصل على سلم النشوء والارتقاء» و «الانسان نفسه لن يتغير كثيرا ولا يتقدم ابعد من مجتمعه التكنولوجي لمجرد ان التكنولوجيا قد حلت محل التطور البيولوجي».

بدا ان داي كان قد عكف على تخليد المفاهيم المفلوطة الشائعة حول النشوء والتطور بينهما أنا انفق الكثير من وقتي، اثناء مساعي النشوء والتطور اللتين افوم بتدريسهما، في نقض وتفنيذ مثل هذه الاقوال السائبة بعينها، ذاك لاننا نرفض رفضا باتا «النظرية الصنوفية» التي كانت سائدة في القرن التاسع عشر، والشديدة التطابق مع نظرية «سلم الحياة» الارسطوطالية. وعلى نقض فكرة التطور التدريجي للصنوف نحو كائنات ارقى، تقوم باستنباط وتطوير افكار حول نشأة الجينات ومعدلات انتشار الخصائص في المجموعات السكانية الطبيعية. انه من السخف الإنكار ان الناس لا تزال تتطور، ونقوم بضرب الامثلة كعبا على اثر الانتقاء الطبيعي على مجموعات سكانية مختلفة اليوم.

زيادة على ذلك يتحتم على ان أقوم اسبوعيا بمصارعة سيل من هذه النشوء الزائف، لا يخلو من نظريات دينية، حول ما يفترض انه من موضوعات النشوء والتطور، ويشمل في جملته نداءات هاتفية ورسائل ومقالات وحتى كتب. اناء وضع كهذا، لا أغرو اذن ان ارمي، بعد نظرة عابرة، بكتاب داي حول التكوين في كومة «المرفوضات فلسفيا»، لاسيما وانه كان، بشريطة الاحمر البراق المخاط به، قد بدا لي اشبه بكتاب للتسايع او المدائح الدينية منه بمرجع حول العلوم الطبيعية.

لكن هذا الامر احزنني كثيرا، لان الحاجة ماسة جدا الى مرجع علمي شامل وواضح حول نشأة الحياة.

لكن ميتشل رامبلر Mitchell Rambler، زميلي في التعليم في مادة النشوء البيئي آنذاك، ورئيس برنامج البيولوجيا الخارجية في مكاتب علوم الحياة لوكالة الفضاء الامريكية ناسا (NASA) بواشنطن الآن، تناول الكتاب من كومة المهملات وحمله معه الى البيت. وبعد اسبوع واجهني بتوصية ثابتة صريحة لنقوم باستعمال كتاب داي كمرجع دراسي تميمي في الدورة الدراسية كوحدة شاملة حول اصول الحياة ونشأتها الاولى. حشني رامبلر على ذلك بحماس

شديد بقوله « اقرئي الاقسام حول اصل التمثيل المقترن لحامض النوويك والبروتين، وافرئي القسم الاول حول اشباه البروتين »، فعملت بتوصيته ووجدت نفسي اعكف على قراءة الكتاب من الغلاف الى الغلاف، ودهشت للغاية من نفسي انني اسات تقديره اول الامر، ورحت اشكر رامبر بجزالة على اقتراحه، واخذنا نستعمل الكتاب باستمرار منذئذ.

ان المرء ليفخر لدى كليشياته البيولوجية والعيوب الواردة في الفصل الجيواوجي، وبصرف النظر ايضا عن النتاج العادي البيئي للمجلد الذي جرى توزيعه من عنوان خصوصي في « ايسيت لانسينك » بمشيغان، ويسر المرء متعجبا بكتاب جلي العبارة بالغ الاهمية متسق الاسلوب يربط معا الارصاد الفلكية والاكتشافات الجيولوجية والميكروبيولوجية، ولا سيما الكيمياء ما قبل الحياتية، هاهوذا الكتاب المنشود، وقد افلح واضعه في معالجة تاريخ العضلة الفكرية العملاقة حول اصل الحياة بوضوح وسلاسة بالغين، وباسلوب في متناول الطلبة والدارسين تعاملا.

والآن، في عام ١٩٨٤، وبعد ان تمت اعادة صياغة المتن على نطاق واسع، فقد تقلصت عيوب الكتاب الى حد كبير وبرزت قوته وجدارته مادته، فالأخراج قد تحسن كثيرا مع احتفاظ الكتاب بجلائه وشموليته الاصيلين، وجاءت هذه الطبعة الثانية المنقحة نتاجا متقنا وخطيقا بالاهتمام.

شرح داي بجلاء خال من كل غموض كيف قد تم تحويل مسألة اصل الحياة من مصدر لتحديات والتخمينات الفكرية الى مسألة في العلوم التجريبية والارصادية، يفترض داي بكل صواب ان مسألة اصل الحياة ونشأتها تقع كليا ضمن نطاق الدأول العلمية، وهو يرى ان امرا سيرا واحدا، هو اصول المونومرات، لا يتخطى الا بقليل دائرة المسائل الكيميائية العادية، ثم يعرض التقدم الهائل المنجز في هذا المضمار بأسلوب في غاية الوضوح.

لكن ما أسرع ما يتعقد الموضوع ويتلاشى، ان مسألة ظهور الحياة من مونومرات كيميائية عضوية وجزئياتها الكبرى اكثر تعقيدا وتواشجا الى حد بالغ. ان المسألة المركزية هنا هي اصل المنظومات الذاتية التكوّن المتأبضة الناشئة من الكيميائيةات، وهي مطابقة بذاتها لمسألة ظهور الخلية البروكاريوتية في حدها الأدنى، فتتمدد، من البيوكيمياء والبيولوجيا، من حدها الاقرب، الى أعماق غياهب الميكروبيولوجيا اللاهوائية في حدها الأقصى، وهنا بالذات، في وصف هذا الحد الكيميائي البيواوجي، وهو لب المسألة، يبرز نبوغ داي بتفوق، فهو يميز التجارب المنطوقة ذات العلاقة ويقدم خدمة جليلة كبرى للخير البيولوجي والخير الكيميائي في تقييمه الدقيق للتفاصيل غير ذات العلاقة، ويشرح المحددات الحالية للعناصر المختلفة التي يركز عليها تفسيرنا لظهور المنظومة الكيميائية الذاتية الادامة المسماة بالحياة، انما تتضاءل براعة داي قليلا في معالجته لمادة الوراثة والجينات وبيولوجيا الخلية وجيولوجيا ما قبل دهر الحياة الظاهرة والبيولوجيا المتطورة للانسان، غير ان الامر الحقيقي بالتقدير

هنا هو انه يكتب عنها بوضوح غير منقوص وباسلوب مباشر ومشوق واخاذ. تقف الطبعة الثانية المنقحة من كتاب داي فريدة بذاتها بصفتها الكتاب الذي كنا ننشد، انه نتاج اصيل يفيض بالشروح الواضحة الشاملة لاصل نشأة الحياة بمفهومه العلمي، وهي الدراما العظيمة التي وقعت على سطح الارض قبل حوالي اربعة آلاف مليون سنة خلت، زد على ذلك، ان الكتاب مصمم من البداية للطلاب والدارسين. فالطلاب والعلمون والباحثون والمشهدون لعالمنا في عصره الفضائي هذا كلهم سيجدون ايماءا ترحيب بهذا الكتاب المرجع ويهتفون مطبوعة جامعة يال لطرحه وجعله في متناول جمهور اوسع.

جامعة بوسطن
كانون الثاني ١٩٨٤

لين مرغوليس
بروفسورة البيولوجيا

مقدمة المؤلف

الى ما قبل ثلاثين سنة خلت ، كانت اية دراسة هادفة لكيفية بداية الحياة على الارض البدائية تبدو خارج نطاق التحقيق العلمي ، اذ كانت حتى ابسط المتعضيات المجهرية المؤلفة من جزيئات كبرى ومعقدة للغاية المسماة البروتينات ، - كانت - متواشجة ومتداخلة وملتبسة الى حد كان التحليل العلمي الدقيق آنذاك يقف عاجزا كلياً عن خرق حاجزها لتحري غمارها والتعرف على مكوناتها ، وكانت الجينات هي المفتاح الى تكاثر الحياة . هنا كان يفترض ان تمثيل البروتينات يتم في نوع من صفيحة مغايرة او مرسومة ، لكن لما كانت العناصر المكونة للبروتينات ، وهي الحوامض الامينية ، تحصل في الطبيعة فقط كنواتج لمنظومات بيولوجية فقط ، ظل هذا السؤال قائماً ومحيراً: كيف اذا تكونت الخلايا الاولى؟

ثم تقاطرت الاحداث كلها في نفس السنة ، عام ١٩٥٣ ، حين أعلن فريدريك سانجر Frederick Sanger أنه قد تمكن هو والعاملون معه من تحليل البنية الاولى لجزيئة بروتينية ، وأعلن جيمز واتسون James Watson وفرنسيس كريك Francis Crick عن تمكنهما من فك مغالق الاساس الكيميائي للحياة ووجدوا أنه يتكون من حامض نووي مزدوج اللولبية ، ثم جاءت تجربة ستانلي ملر Stanley Miller التي كشفت عن كيفية امكان اختلاف اللبنيات البنائية للحياة دون وجود مسبق لأية خلية حية.

انطلقت البحوث حول اصل الحياة ، بعد ان تحررت مما كان يصيبها من الشلل وبعد ان استحثت بعصر الفضاء ، انطلقت نحو عهد من الاكتشافات والفتوحات العلمية بواسطة تلك الانجازات الثلاثة العلمية الكبرى لم يلبث ان تبددت امامه المفاهيم القديمة لتحل محلها نظريات جديدة فيما غيرت التجارب المختبرية صورة الارض البدائية ، واماطت الاوضاع الجديدة اللثام عن الادلة الى كيفية بداية الحياة.

واليوم قد اصبح في مقدور العلم اعادة رسم كيفية ظهور الحياة على الارض في بادىء امرها ، انها قصة مثيرة وخرابة ممتعة في تدرج البحوث وفي النتائج . والمسألة التي كانت تجابه العلماء في بحوثهم : في أي مستوى من الوجود المادي كانت للمادة القابلية على ردم الفراغ واجتسام الهوة التي كانت تفصل العالم البيولوجي عن العالم الجمادي الصرف؟

وكي نجد اصل نشأة الحياة يتوجب علينا ان نرجع الى ظروف قد انمحت وزالت ، ولم يبق لها اي اثر في الوجود.

يقتضي بنا ان نعود الى عصر سابق قد انقضى وتلاشى في الماضي السحيق حين كانت الاحوال خلاف ما هي عليه اليوم ، كما يجب ان نرجع ايضاً الى بعد مختلف مغاير للابعد التي نالها اليوم ، يلزم ان نعود الى عهد الصغائر الدقيقة الذي ينأى اشواطاً شاسعة عن متناول ادراكنا الحسي ، الى مستوى كانت الحياة توجد فيه اقرب الى الحاجز البيني الذي يفصل بين الحي واللاحى ،



فانه هناك على ذلك المستوى وفي تلك الاحوال لزمن سابق بعيد نجد العتبة التي افقت الى عالم الاحياء من العالم الجمادي الصرف.

كلمة شكر وتقدير

ان معظم المواد الخلفية لهذا الكتاب مستمدة من المناقشات العديدة والمثيرة التي قمت باجرائها مع ويليام ستيلويل William Stillwell وفرانك دينز Frank Denes وآخرين خلال فترة مكوثنا في معهد التشيئة الجزيئية والخلوية في ميامي. والشروح التحليلية النجينة التي أدلى بها ويليام ستيلويل هي التي مكنت من ظهور الطبعة الأولى من هذا الكتاب.

كما انني مدين للغاية للبروفسورة لين مرغوليس لما أبدته من دعم ومقترحات ساعدت بشأن أعداد هذه الطبعة المنقحة. كذلك ازجي جزيل شكري الى لويس براون Louis Brown على تصحيحاته في مادتي الطاقة والفلك، وإلى بن ستولر Ben Stoller على تبادل الافكار والمواد، وإلى لورا راندول Laura Randall على التشجيع الذي لقيته منها، وإلى العديد من قراء الطبعة الأولى الذين أغدقوا بتعليقاتهم التشجيعية.

لقد قام جورج هيلدنبرانتونيس أو كلاغان وجون باسفورد John Basford وبن ساندي فان دنيس Dennis O'Callaghan، وجون باسفورد John Basford، وبن ساندي فان أوزدول Ben and Sandy Van Osdol، بقراءة النص الأصلي وتقديم المواد وإبداء آراء لا تشين في مناقشة ملدة الموضوع، وقد كان ساندي فان وزدول متعاوناً على وجه الخصوص في مراجعة مسودات النص المنقح.

ولابد من إبداء كلمة تقدير أيضاً إلى ستانلي ميلر Stanley Miller، وجيه ويليام شوبف J. William Schopf، وبريستون كلاود Preston Cloud، وكارل ووزه Carl Woese، وديفيد ديمر David Deamer، وويل هارغريفز Will Hargreaves، لما أسدوه من مساعدة في تصويب فصول معينة في كلتا الطبعتين الأصلية والمنقحة. لكل هؤلاء وغيرهم جميعاً ممن ساهموا بالمواد في الكتاب يضم هذا المجلد عرفانا بفضلهم.

المؤلف

نوتة

ان ما يرويه ويليام داي، واضح هذا الكتاب الذي بين يدي القاريء الآن، عن نشأة الحياة على كوكب الأرض يدفع المرء الى الافتراض بأحتمال تواجد حياة بدائية جدا من نوع أو آخر لا تزال في مستواها دون المجهرى أو المجهرى أو أرقى من ذلك بقليل أو كثير على الكواكب الترابية المتصلبة (terrestrial) الأخرى كالأرض في منظومتنا الشمسية، وهي ثلاثة: عطارد، وهو اقرب الكواكب الى الشمس ويبلغ بعده عنها (٣٦) مليون ميل، ودرجة الحرارة في نصفه الحار المضاء على الدوام تقع بحوالى (٥٤٠٠) مئوية، وفي نصفه البارد المظلم على الدوام بحوالى (٥٢٠) مئوية، والزهرة، وهي تكاد تكون بحجم الأرض تقريباً، لها جو كثيف للغاية تلبده غيوم سميقة، وتبعد عن الشمس بمسافة (٦٧) مليون ميل؛ والمريخ، أو الكوكب الاحمر، وهو اكثر الكواكب شبهاً بالأرض من حيث المناخ ودورته حول نفسه وحول الشمس، رغم ان جاذبيته اقل من نصف جاذبية الأرض، وقطبيه مغطيان بالثلوج الدائمة، ويبلغ بعده عن الشمس (١٤٢) مليون ميل. اما الكواكب الخمسة الأكبر والابعد والمعوتة بالخارجية، خلاف الاربعة الداخلية المذكورة، فانها لا تزال في حالتها الغازية. فالمشتري، وهو اقربها الى الشمس ويبعد عنها فقط (٤٨٤) مليون ميل في المعدل، لا زالت كثافة كتلته تقل عن كثافة الماء. واحتمال وجود حياة بدائية لا يقتصر على كواكب منظومتنا الشمسية بل لابد وانه ينطبق ايضاً على المنظومات الشمسية الأخرى في مجرتنا، أم النجوم، التي تضم مائة ألف مليون منظومة منها ما هو اكبر من منظومتنا بكثير جداً، وايضاً على كواكب المنظومات الشمسية في المجرات الأخرى المنتشرة بالآلاف وملايين الملايين اللامحدودة، ومنها ما هو اكبر بكثير من مجرتنا، في الفضاء أو الكون الرهيب.

ان تطور الحياة على كوكب رهن بتطور الكوكب ذاته، والأرض لا تزال في تطور متواصل، وهكذا أحيائها معها ايضاً، فإذا تباطأ كوكب في تطوره أو توقف عن التطور في إحدى مراحلها، كما هي الحال في قمرنا مثلاً، فان أحياءه ايضاً تواجه المصير نفسه، وأما ان تبقى في مستواها بدون مزيد من التطور، ان لم يكن ذلك حد التطور الأقصى للكوكب، أو تتضاءل وتنقرض كلها اذا اختلت البيئة المواتية لبقائها أو اقتحلت أو تعرضت لمؤثرات أخرى تعدم الحياة. تدل الدراسات ان العناصر الاثني والتسعين الطبيعية الموجودة في الأرض هي نفسها التي يتألف منها باقي الكون ولا يوجد غيرها. ويقول داي ان الفحوص والتحليلات المختبرية الكيميائية والبيولوجية المجراة على النيازك المختلفة

المساقطة على الأرض من الفضاء ، وكذلك الصخور المستجلبية من القمر ، جميعها قد كشفت عن احتوائها لنفس الفلزات الموجودة في الأرض مع نسب مختلفة من بعض نفس المواد والمركبات العضوية ما قبل الحيوية التي تكونت منها الحياة بالأصل على الأرض ، كالسكريات الأولية والبروتينات ، وهذه هي المواد التي تكونت منها اللبنة (ply nucleotides) تضامنت والتامت بحكم ظروف (peptides) وبولي نووتيدات (poly nucleotides) المتصاعدة من جوف الأرض وجدت في حينها ، متأثرة بالغازات والابخرة المتصاعدة من ضوء الشمس ومصادر وبمقدونات الاندلاعات البركانية ، ومنخفضت عن حياة بشكل خلية وظيفية متنامية الطاقة الأخرى في بيئتها الأرضية ، فتمخضت عن حياة بشكل خلية وظيفية متنامية بدائية ، ثم أن الأحياء الأرضية من حيوانية ونباتية ، بما فيها الإنسان نفسه ، تتألف فقط من (٢٠) من هذه العناصر الطبيعية ، وجميعها عادية وشائعة ولا يوجد بينها أي عنصر نادر أو غريب . ومن بين هذه الأربعين تكفي ثمانية عشر منها فقط لتكوين الحياة ، أن الجبيلة الأولية أو البروتوبلازما (protoplasm) تتألف من (٢٦) عنصرا لكن أربعة من هذه فقط تؤلف (٩٨٪) من مجموع تركيبة الجبيلة ، وهذه هي الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين ، والأكسجين ، مع زيادة نسبة الكربون على الجميع .

كلنا بالأصل ننحدر من خلية بدائية واحدة تولدت ونمت وتكاثرت وتطورت وتشتعت في دورات مرحلية تكرارية لا حصر لها عبر ما يناهز أربعة آلاف مليون سنة ، لا شأن لها غير البحث عن الغذاء مندفعة بالفطرة إلى التطور والارتقاء .

إن عالم الأحياء عالم رهيب هائل وعجيب إلى حد يفوق التصور ويتجاوز العقل ، اعتبارا من الأجسام الحية المرئية اعتياديا ، حيوانية ونباتية ، ونزولا في الحجم إلى أصغر الجراثيم وأدقها التي تحتاج إلى التكبير إلى عشرات ومئات الآلاف من المرات للتمكن من مجرد رؤيتها ، ثم من هناك تبدأ تستدق في الصفر إلى ما دون فترة المجهر الإدراكية وتندرج في الصفر حتى الفاصل البيئي ما بين الحياة والجماد ثم تتضائل وتتلاشى في الجماد الصفر أو ما هو لا يزال بنظرنا جمادا صرنا . ومفردات أجزاء الحياة أو لبناتها البنائية لا تشكل حياة بذاتها ، وإنما تضامها والتشامها معا هو الذي يشكل الحياة بفعل تحفز فاعلية أحدها بفاعلية الآخر .

يحكي المؤلف داي قصة نشأة الحياة على كوكب الأرض بأسلوب شيق أخاذ وبمفهوم التجارب المخبرية الاعتمادية للتفاعلات الكيميائية التي كان محتملا وقوعها في بيئة الأرض البدائية ، والمستدل عليها وفق الدراسات والتحريات العلمية المختلفة والتجارب القائمة عليها . هذه هي الأرض قد غدت كتلة تراكمية صلبة يغمرها ضوء الشمس وتسفعها أشعته ما فوق الانفجارية ، فتتفاعل عناصرها الطبيعية إلى أن تتمخض عن خلية حية تنطلق ساعة وراء الغذاء حفاظا على بقائها بدافع الفريزة فتتكاثر وتطلق افرازاتها في البيئة فتطورها وتغيرها وتطور هي وتتغير معها ، وتتسارع وتيرة اختلاق الحياة أولا على نطاق دقيق مجهرى وفي تجمعات المياه الضحلة التي نمت واتسعت بالتدريج وصارت بحارنا



التي نألفها اليوم ، وتتماقب الاحقاب والدهور والحياة في تزايد وتنوع مطردين وربما الأوكسجين بالتراكم في فضاء أو جوف الأرض . وفي كل حقبة تظهر أحياء تظل باقية طوال بقاء البيئة المؤاتية لبقائها وتنقرض بزوالها لتظهر أحياء أخرى منها تلائم البيئة الجديدة فتعيش فيها وتتفاعل معها وتعمل على تغييرها حتى إذا ما بلغ تغير البيئة مرحلته الحرجة أو الخطيرة تبدأ هذه الأحياء بالتضاؤل بينما تكون قد ظهرت أخرى أكثر ملاءمة للبيئة المتغيرة فتزدهر الجديدة وتنقرض القديمة ، وهكذا دواليك إلى أن ظهر الإنسان قبل زهاء خمسة أو عشرة ملايين سنة خلت . لكن الإنسان الأول الذي يرجع أصله بعض العلماء ، بما فيهم داي نفسه ، إلى ما قبل أربعة إلى خمسة ملايين سنة ، بينما يقول آخرون أن أول ظهور الإنسان كان قبل حوالي خمسة وعشرين مليون سنة ، وهذا هو أقدم تقدير لظهور اجناس عديدة من الإنسان ، كإنسان النياندرتال (Neanderthal) وإنسان الكروماغنون (Cromagnon) وغيرهما . أما نحن ، الإنسان البشر ، فلم نعد التنقيبات الجيولوجية على أي أثر لنا أقدم من زهاء نصف مليون أو ستمائة ألف سنة مضت فقط . وحتى إلى ما قبل ثلاثين أو أربعين ألف سنة كانت اجناس من الإنسان غيرنا تعيش أو آخر عهدها آنذاك وانقرضت وزالت تماما . وتشير التنقيبات الجيولوجية أيضا إلى أن الإنسان الحالي بدأ يقطع عن التجوال والصيد ويستقر في مجتمعات زراعية قبل فقط حوالي عشرة آلاف سنة ، وليس أكثر .

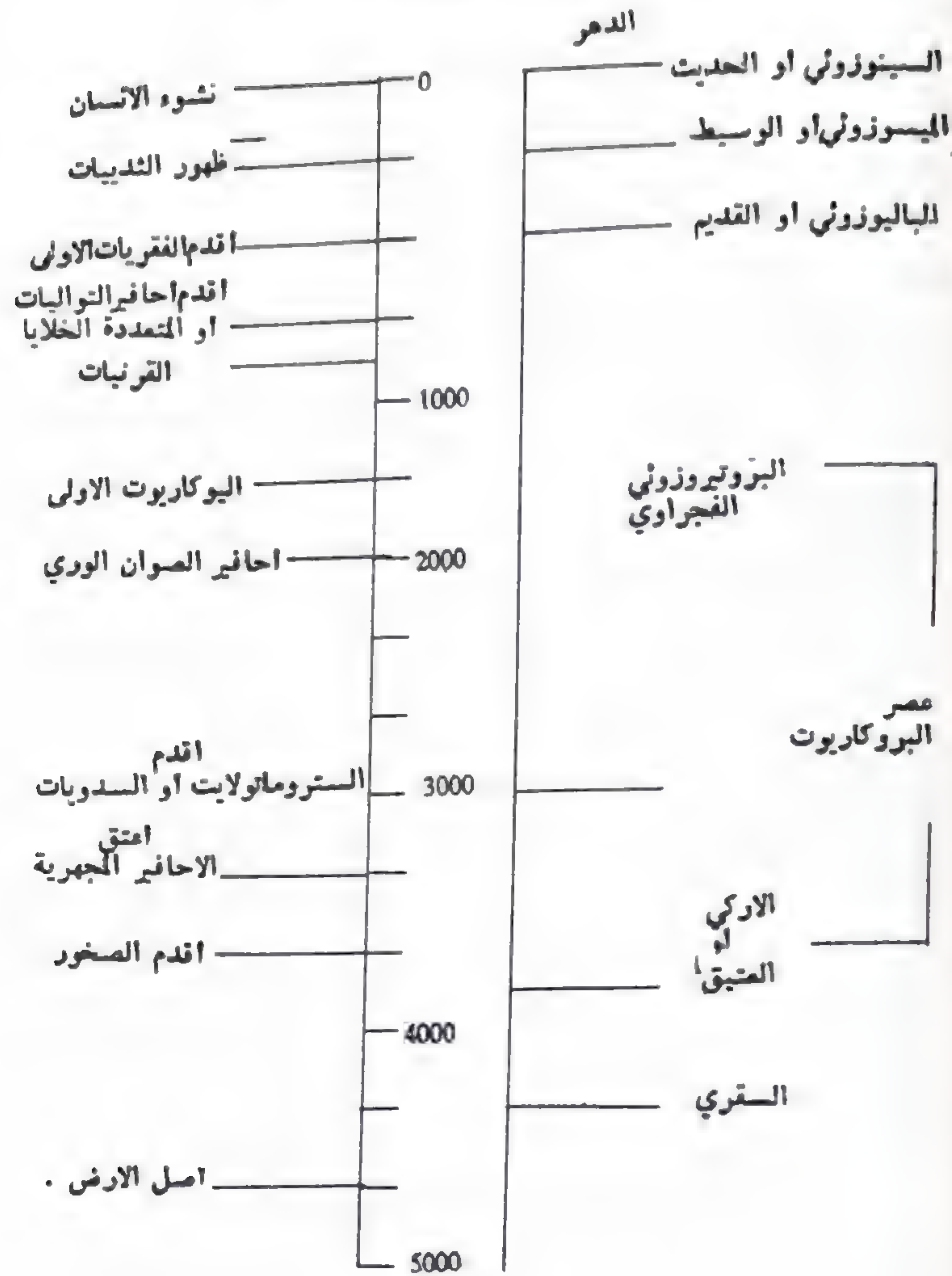
لا يحزم المؤلف في أقواله بشيء ، ولكنه يطرح الامثلة مع البراهين الثبوتية عليها فتحكي هي قصتها بنفسها ، ويرسم لنا كيف أن الخط الفاصل بين الكيمياء العضوية واللاعضوية وهمي ، وذلك في مدرج من التقارب وتضاؤل الفوارق وتزايد التشابه إلى أن يتلاشى آخر فارق فلا يبقى لدينا غير مجرد كيمياء فقط ، وتلك هي كيمياء الأرض البدائية على فطرتها ما قبل الحياتية قبل زهاء أربعة آلاف مليون سنة .

إن الإنسان والأحياء والطبيعة كلها في تطور ارتقائي متواصل ، لكن الإنسان قد أخذ يتحكم بتطوره وتطور بيئته بفضل علومه وتكنولوجياه ، وربما أنه قد سارع الخطو ، أما إلى أين فذلك ما لم يلتفت أحد حتى الآن إلى معانته من أي منظور . لكن ربما لا تزال المرحلة الحرجة تكمن أشواطا بعيدة في المستقبل . والإنسان الآن في بداية عصره الفضائي ، عصر ارتياد العوالم الأخرى والتنقل بين الكواكب في الكون ، ولابد أن تصبح الاسفار الفضائية في يوم ما كالسفر بالطائرة اليوم وفي الفد القريب . ذلك لأن الطائرات التي تستطيع قطع حوالي نصف طول محيط الأرض أو أكثر في ظرف ساعة واحدة أو أقل على وشك الانطلاق في الأجواء مع حلول التسمينات من قرننا العشرين هذا .

والسؤال في الفقرة السابقة «أما إلى أين؟» هو السؤال الذي يطرحه داي نفسه الذي يربط بين تطور الإنسان وتقدمه التكنولوجي ، ويحذر من أن استمرار الإنسان في صب ذهنيته التفكيرية في الآلات ربما يؤدي سهوا إلى افلات زمام التكنولوجيا من يديه وتصبح الآلات ذاتية التكاثف والتطور والنصرف فتسبق



الزمن الجيولوجي والتشكيلات الجيولوجية



الإنسان وتعلو عليه فيكون بذلك آخر عهد له في سبيله على الأرض والطبيعة، ويتراجع دوره أمام الأدمغة الآلية الجبارة ويتخلف عنها، وفي النهاية، كخليفة البروكاريوت قبل أكثر من ألف مليون سنة، يبدأ بالانكماش والانقراض، أو ربما يظل بعضه في البقاء، كما هي في البروكاريوت اليوم، في مجتمعات ضئيلة منزوية في بيئات منعزلة على هامش الوجود لا تنفقه شيئا مما يجري حولها وعاجزة كل العجز عن مواكبة مسيرة التبدل الطفرة الذي تشعب منها أو تولد بفعلها.

الترجم

الفصل الاول البنات البنائية

كان الوقت احدى عصريات الخريف من عام ١٩٥١، حين باشر هارولد يوري Harold Urey، استاذ الكيمياء الفيزيائية ومكتشف عنصر الديوتيريوم، وهو احد اشكال الهيدروجين الثقيل، بالقاء محاضراته في جامعة شيكاغو في موضوع يشكل احدى دراسات عمره، ألا وهو اصل المنظومة الشمسية. ففي آخر كتاب له^(١)، انجز حديثا آنذاك، كان قد افترض ان نظرا الى الاحوال المنقوصة للسديم الشمسي الذي أدى الى تكون الكواكب فان الجو البدائي للارض لم يكن يتضمن الاوكسجين مثلما هو شأنه اليوم، وانما تألف فقط من غازات الميثان والامونيا والهيدروجين.

جلس جميع الطلاب وهيئة التدريس يستمعون باهتمام. لقد تغيرت النظريات حول اصل الشمس والارض والكواكب على تعاقب القرون، ولم يعد يعتقد الآن بأن الكواكب تكونت من قطرات المادة المنصهرة المنقذفة من الشمس اثناء اصطدام عنيف لها بنجم آخر. في عام ١٩٤٣، أي قبل ذلك بشماني سنوات فقط، كان عالم الماني قد طرح بأن الكواكب تكونت بفعل وتراكم المواد الصلبة المتناثرة من الدرادير الدوامة لسحابة هائلة من الغبار والغازات، ومن جهة أخرى لم يكن الا في عام ١٩٢٩ ان اكتشف ان الكون يتألف في معظمه من غاز الهيدروجين وان وجود الاوكسجين الطليق في جو الارض يشكل واقعة كونية غريبة.

واصل البروفسور محاضراته موغلا في موضوع آخر محجب له هو اصل الحياة، فقد اعتقد العلماء في العموم انه لا بد ان الحياة بدأت على الارض الاولى قبل آلاف الملايين من السنين بطريقة يمكن تفسيرها علميا، لكن

التدليل على كيفية امكان حصول هذا كان عسيرا للغاية ، وكنتيجة كانت الدراسات حول أصل الحياة قد بقيت في حالة من الشلل . لقد بينت علوم الحياة ان جميع اشكال الحياة تتألف من مواد كيميائية معينة هي لبناتها البنائية ، وهذه المواد هي الحوامض الامينية (amino acids) ، والسكريات (sugars) ، والدهنيات (lipids) ، وتوعان من القواعد الحلقية اللامتجانسة (heterocyclic bases) يسميان بالبيورينات purines والبيريميدينات (pyrimidines) وهذه المكونات مرتبطة معا في بوليمرية كبيرة ، فالحوامض الامينية تشكل البروتينات (proteins) ، والسكريات تشكل البولي سكريدات (polysaccharides) ، والقواعد تشكل الحوامض النووية (nucleic acids) واتضاد هذه البوليمرات (polymers) المشتبكة في وحدات مغلقة بأغشية دهنية يشكل الخلايا الحية، غير ان الصعوبة التي حيرت العلماء واجببت جهودهم طوال أكثر من مائة وخمسين عاما هي ان اللبنة البنائية تبدو انها منتجة في الطبيعة فقط من قبل متعضيات (organisms) حية. هناك اذن يكمن اللغز المتناقض المزاوغ، فاذا كانت النباتات والحيوانات الحية هي فقط التي بوسمها أن تقوم بتخليق (synthesise) الحوامض الامينية وغيرها من اللبنة البنائية اللازمة لاختلافها هي بذاتها ، كيف، اذن، تمكنت الحياة أصلا أن تبدأ على الأرض؟

أخذ بعض الطلاب يدون الملاحظات ، لكن الاغلبية تركت افكارها تحوم حول المسألة بحثا عن أجوبة جاهزة عن السؤال . كانت الندوة قد بدأت تزدد انهماكا، فالنظريات حول المادة والطاقة والكون اخاذة ومثيرة بحد ذاتها، لكن التحديس حول تكون الحياة من مواد جامدة صرف اقتدح المخيلة وأذن بالخطر.

استمر يوري يحاضر قائلا : لا بد انه وجدت على الأرض البدائية

ظروف قد انمحت وزالت الآن وكانت هي التي أتاحَت للحياة أن تبدأ، لأن انهدام الاوكسجين الطليق وانخفاض الضغط الجوي كانا ليؤديان الى نشوء بيئة كيميائية مختلفة. اذ، لكي تتمكن الخلية من النشوء لابد أن بعض المركبات العضوية كانت قد تواجدت مسبقا قبل نشوء الحياة ذاتها. انما هذا كان مجرد افتراض ، ولم يكن يوجد أي برهان تجريبي على امكانية تكون في الأرض ما قبل البيولوجية أو الحياتية اية مواد عضوية لازمة لنشأة الحياة مطلقا، مع ذلك، ان المنطق يفرض حتمية اختلاق مركبات عضوية على الأرض البدائية بطريقة ما قبل أن تتمكن الحياة من التكون.

وفيما واصل يوري محاضراته حول الحيرة في كيفية بداية الحياة كان أحد الطلاب من السنة الاولى من الدراسات العليا ، وهو شاب من كاليفورنيا يدعى ستانلي ميلر Stanley Miller يصغي باهتمام بالغ ، كان ميلر في الحادية والعشرين آنذاك، وقد جاء الى شيكاغو من باركلي في ايلول وكان لا يزال يبحث عن مسألة بحثية مناسبة ليعمل عليها لاعداد رسالته. ان النقطة التي أثارها البروفسور يوري تبدو معقولة تماما ، لكن لربما ان البرهنة على كيفية تكون المادة العضوية في الاحوال البدائية للأرض عملية تستغرق زمنا طويلا، لذلك، ازاح ميلر الفكرة جانبا عن ذهنه واستسلم لرأيه الاول في البحث عن مسألة أكثر نظرية.

انقضت الندوة بفترة الاسئلة المعهودة. ألم يطمح البيوكيميائي الروسي الكسندر اوبارين Alexander Oparin ايضا بالبحث في امكانية تكون المركبات العضوية في الضغط المنخفض قبل وجود أي اوكسجين فيه؟ أجاب يوري بالتأييد وأوضح أنه لم يطمح أحد بالتحقق من صحتها في اختبار تجريبي.

في ذلك الشتاء انطلق الطالب الشاب المتخرج من كاليفورنيا يباحث مختلف أساتذة الكيمياء حول اهتماماتهم البحثية الخاصة بهدف العثور على مشروع



مجزر يعمل عليه لاعداد اطروحة ، وفي الاخير اعترم على الدراسة على يدي البروفسور ادورد تيلر Edward Teller ، الحجة المعروفة في الفيزياء الذرية ، في موضوع كيفية تكون العناصر في النجوم الشديدة الحرارة ، لكن بعد انقضاء ستة شهور أعلن البروفسور تيلر اعتزامه على مغادره جامعة شيكاغو ليفتح مختبرا في مدينة ليفرمور بكاليفورنيا ، وعاد ميلر مرة أخرى يواجه مشكلة البحث عن مشرف جديد يتدرب تحت اشرافه وموضوع جديد بعد منه رسالته ، وعادت به الذاكرة الى ندوة يوري والاسئلة التي كانت قد أثارته. ربما ان العمل الذي تستلزمه التجربة لن يكون مختصا بالتقدير الذي تراهي له بالاصل وكلما أمعن في التفكير بالامر كلما راقى له المسألة أكثر واشتد حماسه لها بترايده.

وعندما قام بفتاحة يوري بشأن اجراء التجربة لتحري كيفية امكان تكون المركبات العضوية على الارض ما قبل الحيوية (prebiotic earth) قول حماسه بحذر بالغ ، وشرح له البروفسور احتمال أن يؤول مثل هذا البحث الى مهمة شاقة وطويلة وعقيمة ، واقترح عليه دراسة امر وجود عنصر الثاليوم (Thallium) في النيازك . فقط بعدما ادرك يوري مدى تصميم الطالب على المضي بفكرته وافق على قيامه بخوض مسألة كيفية تشكل المركبات العضوية وحذره ان لم تسفر الدراسة عن نتيجة ملموسة في ظرف ستة شهور فيتوجب على ميلر آنذاك التخلي عن التجربة والانتقال الى بحث تقليدي أكثر من ذلك ليضمن النجاح لاطروحة.

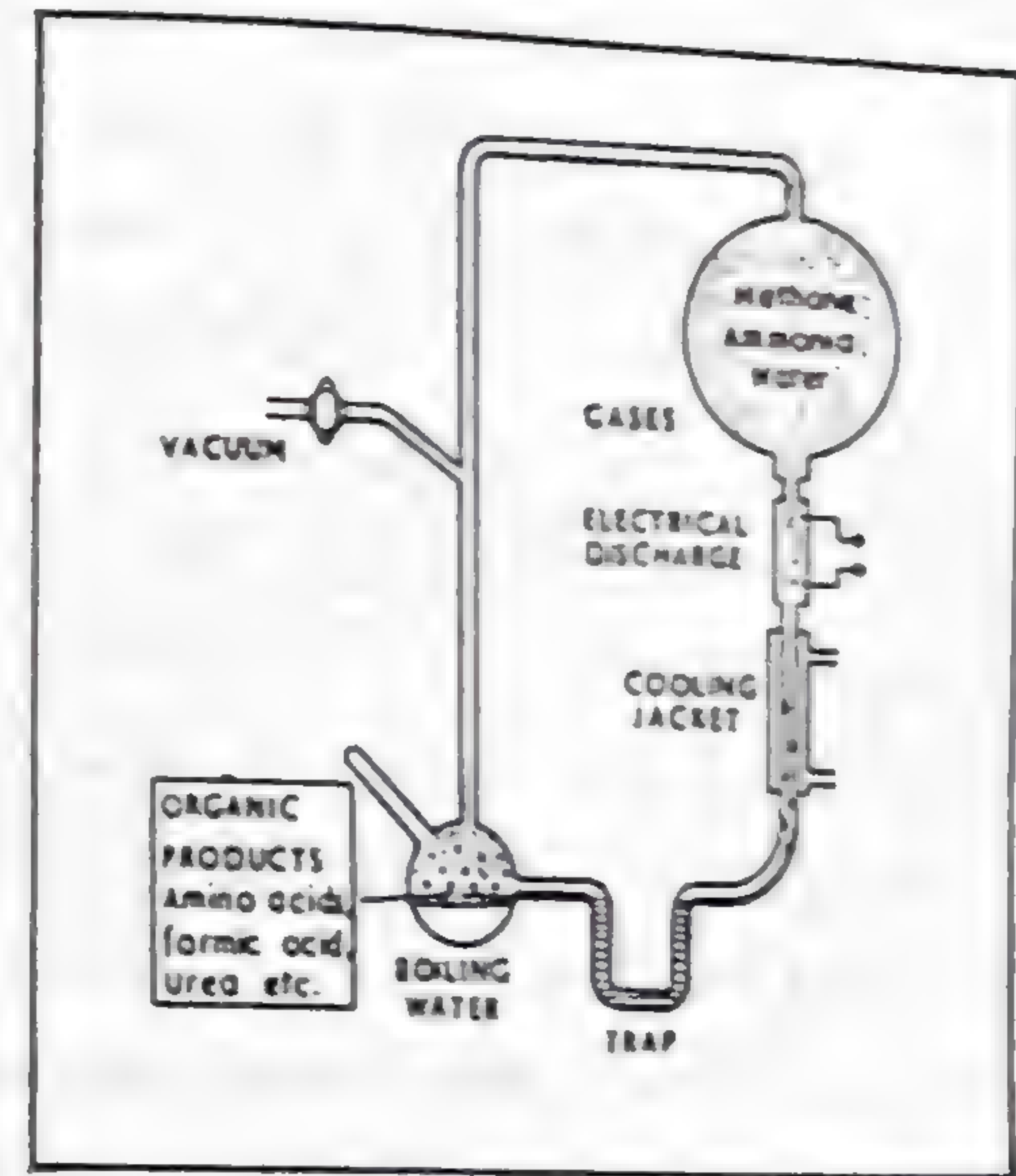
خلال الاسابيع التالية قام ميلر بدراسة بحث يوري حول هذا الموضوع^(٢) ومالغ كتاب اوبارين^(٣) ، حاول بالتعاون مع يوري تصميم جهاز مختبري بوسمه أن يحاكي الاحوال الجوية المفترضة للارض البدائية . ان المطلوب هو شيء يشبه مصدرا طبيعيا ليفعل فعله على خليط من الغازات

لتوليد تفاعل كيميائي، لكن لما كان الجو يتلقى الرطوبة المتبخرة من البحار، والتي تتكاثف ثانية لتعود الى السطح كأمطار ، فانه يلزم ان يشتمل الجهاز على كمية من الماء ايضا. تم رسم التصميم وادع الى مصنع الزجاج للانشاء.

بعد اسبوع كان قد تم تحويل الرسم الى انموذج كامل من الانابيب والقوارير الزجاجية المتصلة . تألف الجهاز الكامل من حجرة زجاجية بسعة خمسة لترات مركبة فوق انبوبة زجاجية في باطنها قضيبا الكترود تنغستن مع رأسيهما متقارنين لبعضها بما يكفي ليتسنى للشرارة القفز عبر الثغرة بينهما ، وفي اسفل هذه ربطت مكثفة موصولة بأنبوبة بشكل (يو: U) تمتد الى قارورة مرتجع الماء كما تم تمديد انبوبة ارتجاع من القارورة عودة الى الحجرة. كان هذا جهازا مغلقا حيث الماء المغلي في القارورة يمر كبخار عبر الشرارة الكهربائية ثم يتكثف ويعود الى القارورة . كان الجهاز يمثل انموذجا للاحوال الجوية في الارض البدائية ويحاكي وقوع العواصف الرعدية في الجو البدائي.

نصب ميلر الجهاز وأخذ يتأمل تركيبته ، قرأ التعليمات الخاصة بليفية تسلا (Tesla coil) التي ستقوم بتوليد الشرارة الكهربائية وذهل عندما وجد انها تنتج ستين ألف فولط . تردد ازاء هذا وبدأت الشكوك تنشي افكاره حول امكانية اجراء التجربة . ان كلا من الهيدروجين والميثان يشكل خلائط متفجرة مع الهواء، وأي تسرب سيؤدي الى كارثة لا محالة، وحتى مجرد فكرة اقتداح ستين ألف فولط في الماء بدت محفوفة بالمخاطر ، ثم لما كان الجهاز كتيما للهواء فان تسخين الماء الى درجة التبخر والتكثف سيمدد الغازات ويمكن أن يولد ضغوطا خطيرة . قام ميلر باعادة الجهاز الى نافخ الزجاج وطلب مبادلة موضعي المكثفة والانبوبة المحتوية لثغرة الشرارة.

بدا الجهاز الآن أكثر أمنا بعد تغيير تركيبه لتأتي الحرارة عقب تكاثف بخار الماء، وقرر ميلر وضع التجربة في حيز الاختبار، صب الماء في القارورة وفرغ الهواء من الجهاز وضخ محله خليطا من الميثان والهيدروجين، ثم قام بفحص الجهاز ليتأكد أنه خال تماما من كل أثر للاوكسجين، وفحصه أيضا للتأكد من عدم وجود أي تسرب فيه ووجده كيميائيا سليما، وبحذر قام بقياس لفيفة تسلا بقياس الكهرباء وبدأ يصعد التفريغ الكهربائي (electric discharge) ليصل إلى ضغط ستين ألف فولت، وبدأت عتائق براقية زرقاء تتطفر عبر الثغرة بين الكرودي التفتن بفرقة إقاعية.



الشكل ١/١ - الجهاز الذي استخدمه ميلر ليحاكي التمثيل ما قبل الاحيائي للحوامض الامينية والبروتين العضوية الاخرى.

لم يبدو أن أي شيء آخر قد حصل وعاد ميلر إلى رحلته ليحاول أن يدرس، لكنه بين حين وآخر كان يذهب إلى الجهاز ليتفقد طوال تلك اللمسية ليرى ما إذا يمكنه أن يلمح أي تغيير فيه. وعندما حان وقت الذهاب إلى البيت قرر أن يترك الجهاز يعمل طوال الليل. في الصباح التالي عندما دخل إلى المختبر رأى طبقة باهتة من الهيدروكربون عائمة على سطح الماء في القارورة. لكنه لم يجد أي جديد في ذلك، فقد كان باحثون قبله قد لاحظوا النتيجة نفسها عند قيامهم بتعريض الميثان لتفريغ كهربائي، فترك التجربة تستمر لعدة أيام أصبحت طبقة الهيدروكربون خلالها سميكة، لكن التحليل الذي أجراه للماء بعد ذلك لم يكشف عن وجود أي شيء يشبه مواد عضوية ذات صفة بيولوجية.

ربما أن الستين ألف فولت هذه أقل خطرا مما بدا له للوهلة الأولى. قام ميلر بإعادة الجهاز إلى المصنع وطلب إعادة المكثفة وأنبوبة الالكترودين كلا إلى موضعها الأصلي، وبعد اسبوع كان مستعدا للقيام بمحاولة أخرى.

وقام بتكرار التجربة. في هذه المرة قام بتدفئة الماء في القارورة إلى حرارة منخفضة بلفيفة تسخين، ومرة أخرى ترك التجربة تستمر متواصلة، بعد يومين رأى ميلر أن الطبقة الهيدروكربونية لم تعد تظهر وإن المحلول كان قد أصبح أصفر باهتا، يبدو أن شيئا ما كان يحدث، قام بتحليل الماء ووجد أن النتائج توحي بشيء ما ولكنها لم تكن جازمة.

مرة أخرى قام بتكرار التجربة، وفي هذه المرة رفع ميلر الحرارة حتى جعل الماء يغلي بشدة، وفيما رأى الماء يقطر من المكثفة علم أن الجهاز كان قد تحمل الضغط إلى أن بلغ حالة ثابتة وكان الماء يجري في الدورة بانتظام. ظل التفريغ يقدح ويتفرق عبر الثغرة فيما كان الماء المغلي يسوق أبخرته مع الغازات عبر التفريغ الكهربائي، ووقف ميلر ينظر بارتياح والتجربة تعمل.

بالطريقة التي صممت لها في محاكاة الجو البدائي.

ليس بوسعنا ان نفعل أي شيء غير الانتظار ، وتعاقت الساعات الواحدة تلو الاخرى والحرارة تستمر بالارتفاع وابخرة الماء والغازات تدور وتدور في الجهاز مفتعلة دورة الماء المتبخر من البحار الى الجو حيث يختلط بالغازات الجوية ويتعرض للعواصف الرعدية ثم يعود في النهاية الى البحار بصفة الامطار . لم يظهر أي تغير ملموس لفترة طويلة ، وتركت التجربة تستمر طوال الليل.

وفي الصباح التالي عندما دخل ميلر الى المختبر لاحظ في الحال ان الماء قد تغير لونه الى الوردي . اغتمره الحواس واندفع بسرعة الى الجهاز لينظر عن كعب ، ثم عندما رأى ان رتيحة التسخين كان لها لفيقة عارية كانت تتوهج حمراء من خلال الماء فترتله ، وبتمهل اخفض الرتيحة ونظر الى المحلول في القارورة ، ووجد ان لونه لا يزال ورديا ، ان تفاعلا كيميائيا معنا كان قد حصل حتما ، رغم كل شيء ، وبدأت افكاره تتسابق ، هل هذه بورفيرينات؟ حمى احدي مجموعات مشتقات البيرول pyrrole الموجودة في porphyrins وهي احدى مجموعات مشتقات البيرول pyrrole الموجودة في السيتوبلازما (أي الخثرة) التي تتحد مع الحديد لتشكل الصبغة الالبروتينية المسماة هيم heme في هيموغلوبين الدم ، وتتحد مع المغنيسيوم لتشكل اليخضور ، أي الكلوروفيل chlorophyll في النبات ان البورفيرينات تعطي اللون الاحمر للدم . اذن هل يجري انتاج البورفيرينات في هذا التحاكي لاحوال الارض اللاحوية؟

لكنه ترك التجربة تستمر ، وتزايدت غمقة اللون ، وبعد انقضاء اسبوع واحد كان الماء في القارورة قد اصبح حتما احمر.

واخيرا حان وقت اختبار النتائج . اوقف ميلر التجربة وترك الجهاز

يرد ، ثم استخرج عينة من القارورة وقدم بتحليلها بطريقة الكروماتوغرافيا الورقية (paper chromatography) ، وهي الطريقة المعتادة المتبعة في فصل واكتشاف مقادير صغيرة من المادة . بعد انجاز الكروماتوغرام او الشريط الورقي المتضمن لترتيب الخطوط او الانطقة الناتج من عملية الفصل ، قام برش الشريط بغبرة من محلول النهدرين (ninhydrin) واحماه في الفرن . وفي غضون دقائق بدأت بقع ارجوانية تظهر مشيرة الى المكونات . ان هذه المركبات هي حوامض امينية!

قام ميلر بتحليل عينته ابالفة غراما واحدا بطريقة كروماتوغرافيا التبادل الايوني والكاتيوني anion = تيار سالب و cation تيار موجب في التحليل الكهربائي ، ثم فلق المكونات بطريقة التحليل التقاطري (fractionation) وعمل مشتقات كيميائية من الحاصل الاكثر غزارة ، وقارن نقاط ذوبانها بتلك الخاصة بالحوامض الامينية المعروفة ، بعد ذلك قام بتعقيم الجهاز برمت وكرر التجربة للتثبت من ان هذه النتائج لم تكن معزوة الى تلوث بكتيري ، لكن النتائج لم تدع أي مجال للشك ، لقد كانت حوامض امينية بالفعل ، ذات المركبات التي تستخدمها النباتات والحيوانات في بروتيناتها^(٤) . والآن لم تعد توجد أية معضلة حول كيف تمكنت المتعضيات من انتاج المركبات المعضوية قبل وجودها هي بذاتها - فقد كانت البنات البنائية موجودة مبقا على الارض البدائية.

كانت هذه التجربة التي اقتحت المغالقي وشقت الدرب ، كما ان بساطتها والحصيلة العالية من المنتجات ، والمركبات البيولوجية النوعية المنتجة باعداد محدودة في التفاعل ، كانت كافية للبرهنة على ان الخطوة الاولى في نشأة الحياة لم تكن مطلقا مصادفة وانما حدثا حتما كان لابد من وقوعه . وبالنسبة كشفت هذه التجربة ان المكونات الاساسية التي منها يتم انشاء

الفصل الثاني الارض الاولى

كانت الارض البدائية عارية قاحلة تطلع عليها الشمس بسرعة في كل صباح وتلفحها عبر السماء السوداء بلهب شديد من الاشعاع ما فوق البنفسجي. وكان تراكم الكتل اللامنصهرة من الاتربة والخلائط الفلزية والصجارة التي كونت الكوكب بالاصل. قد تركه أشبه الى حد كبير بوجه القمر الجاف المقفل، وفيما تابعت الشمس مسارها النهاري كانت تمر بسرعة عبر السماء في ظرف ساعات قلائل لتغيب تحت الافق بنفس سرعة طلوعها، اذ في ذلك العالم السقري (Hadean) العديم الهواء والماء كانت فترة قصيرة لا تتجاوز مدة خمس ساعات ليس الا^(١).

ومع حلول الليل كان القمر يطلع بكتلته الرهيبة قريبا من الارض بحيث يبدو انه يكاد يلامس سطحها وهو يبرز من فوق الافق مضيئا وجهها الموحش المجذب بوجهه النير المتوهج الهائل. وفي كل مرة فيما كان يطلع بسرعة كانت جاذبيته تفعل فعلها في اثارة الامواج المدية في اللابا lava النزجة المنصهرة المنصبة على سطح الارض من الاندلاعات العديدة. كان القمر يدور مباشرة ما وراء حد روش (Roche's limit) البالغ ٢٨٦ انصاف قطر (radii) أي على بعد من الارض لا يتجاوز أحد عشر الف ١١٠٠٠ ميل، وأفلت من التحطم بدخوله في منظومة حلقة شبيهة بالحلقة الخارجية الدائرة حول الكوكب زحل على بعد قدره ٢٣ امثال طول نصف قطر الكوكب. وتعاقت الشهور بسرعة فيما التف القمر حول الارض في ظرف ٦٥ ساعة في مسار منحرف ٤٦ درجة تقريبا عن الاستواء الفلكي.

المنظومات البيولوجية (biological systems) هي مركبات لها خاصية امتصاص الطاقة. لذلك فانه مع الخليط الصحيح من الغازات يمكن لأي مصدر طاقة بوسعه تكسير الاربطة الكيميائية (chemical bonds) أن يطلق تفاعلا يفضي الى تكون البنات البنائية للحياة^(٥).

ومهما بدأ قمار الباطن الصخري، فقد تضمنت الأرض الباطنية في خلقتها جوهر وجود جديد . كان الكوكب لا يزال في الجوهر كتلة غير متسقة قد تراكت وفتت بدرجة حرارة منخفضة بما يكفي لتمكينها من احتفاظها بالمكونات المتطايرة (Volatile constituents) المختزنة في باطن بيتها الصخرية. كما كان أيضا محتبسا في باطنها النظائر المشعة لعناصر البوتاسيوم والاورانيوم والثوريوم . ومع مضي الزمن امتصت الصخور الحرارة التي تعذر عليها التبدد والتولدة من التفكك الاشعاعي لعناصر البوتاسيوم ٤٠، والاورانيوم ٢٣٨ و ٢٣٥ والثوريوم ٢٣٢. وبدأت درجة حرارة هذه الصخور ترتفع. وبعد مضي ملايين من السنين رفعت سخونة التراكم درجة الحرارة الى ما فوق نقطة انصهار السيليكات (silicates) وفيما ذابت الصخور أخذت تتدد فانخفضت كثافتها وخف وزنها واندفعت فاذحة الى الاعلى بينما غاصت المواد الاكثر كثافة الى الاسفل . وبالنسبة أدت هذه الآلية الحركية الجديدة الى تسرع عملية التباين الطبقي لباطن الأرض المبني على الكثافة ، التي كانت قد ابتدأت أثناء مرحلة التامي التراكمي.

أدت الحرارة الى تحرير المكونات المتطايرة المحتبسة في الروابط الكيميائية فخلقت هذه بدورها ضغوطا هائلة تحت السطح الصخري الضعيف ، وبمرور الزمن بدأت القشرة الخارجية تعجز عن احتواء غليان الاوار في الباطن فتصدعت وفتحت في شقوق واخاديد وانتفتحت المتطايرات والمواد المنصهرة الى الخارج في نوافثات واندلاعات بركانية وبنابيع حارة. وتحررت غازات الاوكسجين والهيدروجين والنيتروجين والكربون المنجمدة منذ عهد بعيد في مؤتلفات (combinations) لا متطايرة مع المعادن بمثابة اوكسيدات وهيدرات وتريدات وكريدات (oxides, hydrates, nitrides, carbides) ، تحررت من العناصر اللاغازية وانتفتت وترشحت الى السطح حيث بدأت تكون جوا .



وهنا أخذ كل الاوكسجين الطليق يتفاعل بسرعة مع الغازات المنقوصة ليكون الماء، وتآلف الغلاف الغازي الذي بدأ يتشكل حول الكوكب من الهيدروجين والنيتروجين وبخار الماء وأول وثاني اوكسيد الكربون وحامضي الكبريت والكلورين. وتحرر الفسفور الملتصق بالصخور بمثابة الفلز اباتيت (apatite) بفعل الحرارة الشديدة وانتفتت الى السطح مع الارمدة البركانية ليتفاعل بسرعة مع الماء.

وتحت السطح الحار بدأ الرجل يتمخض في تيارات انتقالية عظيمة تحمل الحرارة والمواد الاخف الى أعلى نحو الخارج فتبسط الصحارة الكثيفة من الحديد والنيكل الى الاسفل نحو مركز الأرض ، وارتفعت العناصر المشعة الملتصقة انتقائيا بالشبيكة البلورية للفلزات الاقل كثافة وتضاعدت الى السطح. في هذه المرحلة لم تكن توجد اية قشرة متضخمة بعد ، انما كان هناك مجرد سطح خارجي للكتلة التي لما تزل تنسق، اما اللب الباطني الذي كان يزداد سخونة بفعل حرارة التفسخ الاشعاعي من الاعلى وضغط الجاذبية الهائل ، فانه بدأ ينمو ويكبر مع نزوح الحديد المنصهر الى الباطن.

لم يكن السطح مستقرا كما هو عليه اليوم بتألفه من مواد أخف وزنا، واستمر في الانهيار والخسوف الى الاسفل ليزيح الصحارة التي تدفقت الى السطح وانصبت عليه في سيول عظيمة من اللابا ، وأخذت الصخور الذائبة التي وصلت الى السطح تتجسا وتتصلب بشكل البازلت (basalt) الناعم الملئس ، وهو صخر بركاني اسود فحشي الى اربد قاتم في اللون ، بينما تألفت الفلزات الرئيسية من ييروكسين سيليكات الفيرومغنسيوم (ferromagnesium silicate pyroxene) والبلاجيوكلاز المتضمن للكالسيوم (calcium-bearing plagioclase)

كانت الأرض كدسا متجمعا من المواد الصخرية التي كانت أغلب مكوناتها



الفلزية تتألف من سيليكات الحديد ، والالمنيوم ، والمغنيسيوم ، والكلسيوم ، والصوديوم ، والبوتاسيوم . كما كانت اوكسيدات الحديد موجودة ايضا وكذلك الالباتيت ، وهو فلز فوسفات الكلسيوم . شكلت فقط اربعة عناصر ، وهي الحديد والاكسجين والسيليكون والمغنيسيوم ثلاثة وتسعين بالمائة (٩٣٪) من مجموع الوزن ، ونزح أغلب الحديد الى مركز الارض بينما

اصبحت السيليكات هي الفلزات الرئيسة للطبقات الخارجية . ان الصخور النارية ، تلك المتبلورة من ذائب السيليكات المسمى بالصهارة (magma) ، هي اقرب تشبيه لمادة الارض البدائية . والصخور يمكن أن تتألف من فلز مفرد مثل الكوارتز SiO_2 ، لكنها في العموم تتكون من مؤتلف من الفلزات تشكل التركيبة والخصائص الملموسة المميزة لها . وعندما تصلب الصهارة عند السطح أو بالقرب منه يؤدي النمو البطيء لفلزاتها التكوينية الى خلق صخور غائرة أو جوفية (plutonic) التي يشكل صخر الغرانيت (granite) صنفا شائعا منها ، والغرانيت هو واحد من أخف الصخور وزنا ويتضمن سيليكات أو الفلز بنسبة ستة وستين بالمائة (٦٦٪) أو اكثر ، بينما يتضمن صخر البازلت خمسين بالمائة (٥٠٪) ، وتشكل الصخور الاندسيتية (Andesitic) السلسلة الوسيطة .

١/٢ - الفلزات الرئيسة في قشرة الارض

الفلز الوزن بالنسبة المئوية

| | |
|-------|-----------|
| ٦٠.١٨ | SiO_2 |
| ١٥.٦١ | Al_2O_3 |
| ٥.١٧ | CaO |
| ٣.٩١ | Na_2O |
| ٣.٨٨ | FeO |
| ٣.٥٦ | MgO |
| ٣.١٩ | K_2O |
| ٣.١٤ | Fe_2O_3 |
| ١.٠٦ | TiO_2 |
| ٥.٣٠ | P_2O_5 |

المصدر : الورقة المهنية ١٢٧ (١٩٧٤) حول المسح الجيولوجي للولايات المتحدة ،
للسادة اف دبليو كلارك (F.W. Clarke) وايچ اس واشنطن (H.S. Washington)

ظلت الأرض حارة ماحلة طوال مئات الملايين من السنين فيما كانت البراكين والثورانات الباطنية تنفجر وتصب أدخنتها وابخرتها السامة بوتائر هائلة. لم تكن توجد أية محيطات، وكان الجو ضيلا للغاية والسطح مقحلا ومحفرا تحدث الشقوق والاختلاط والاندلاعات النارية المنبثقة من الباطن. كانت الأرض آنذاك تبدو للناظر جدباء ضئيلة المصير، لكن كميات هائلة من الماء محتبة في الصخور بشكل هيدرات (hydrates) كانت قد أخذت تتحرر وتطلق إلى الجو وتبقى هناك طالما كان السطح حاراً. وبعد مضي زمن مديد للغاية، ومع الهواء مشبعاً وسطح الأرض آخذ بالبرود وقعت ظاهرة جديدة.

أمطر الجو وتبخر المطر، ثم نزل مزيد من المطر. كان المطر يهتن على السطح الصخري العاري وينخر في الصخور ويتجمع في أحواض أو منخفضات مستوية عظمى. لكن ذلك لم يكن المطر المذبذبات المألوف لريبع الأرض، إنما مطر شديد الحرارة مفعم بالحوامض النادرة منتفث من أحشاء الأرض، ومشحون بكبريتيد الهيدروجين، والكربون وكلوريد الهيدروجين. وكانت المتطايرات الرئيسة المنبثقة من البراكين تتألف من الماء وثاني أكسيد الكربون وكلوريد الهيدروجين بنسبة ٢٠:٣:١ على التوالي، وتضمن المطر بالكربون ومولارا واحداً من حامض الهيدروكلوريد (Molar) وحدة قياس جزيئية غرامية. ومولار من المحلول يتضمن غراماً جزيئياً واحداً بالوزن من المذاب لكل لتر من المحلول.

لكن فيما كانت الأمطار حامضية جالبة معها الكلوريد والبروميديد والكبريتيد: وثاني أكسيد الكربون: كانت الصخور قاعدية بالصوديوم، والبوتاسيوم، والكلسيوم. كان المطر يذيب الصخور إلى نقطة التعادل، وحيث تبخر الماء كونت الأملاح سهولاً ملحية مستوية واسعة.



وفيما استمرت البراكين بتفريغ جوف الأرض من الغازات كانت بنفس الوقت تبني الجو وتخلق البحار. كان الجو منقوصاً خالياً من الأوكسجين والبحار مجرد أحواض تصير ضحلة تتجمع فيها الأمطار. لقد تحتم مضي ما يقرب من ألفي مليون سنة قبل أن يوجد الأوكسجين بكميات ملموسة، وجاءت البحار إلى الوجود فقط بالتنامي المتواصل عبر العصور من المياه المزاحة من الباطن الصخري للأرض.

الجدول ٢/٢ - المواد المتطايرة الموجودة الآن على سطح الأرض أو بالقرب منه والتي لم تنجم عن التعرية الصخرية.

| المادة المتطايرة | الوزن (١٠ ^{-٢٠} غرام) |
|----------------------------------|--------------------------------|
| الماء | ٦٠٠ |
| الكربون بصفة ثاني أكسيد الكربون | ١٦ |
| الكبريت | ١١٠ |
| النيتروجين | ٢٢ |
| الكلورين | ٤٢ |
| الهيدروجين | ٣٠٠ |
| بورون وبرومين وأركون وفلورين الخ | ١٠ |
| | ٤ |

المصدر: معلنة من دبليو دبليو روبي (W.W. Rubey) نشرة الجمعية الجيواوجية الأمريكية ١١٤٧-١١١١ ٦٢ (١٩٥١).



وفي مستقبل يبعد التي مليون سنة من ذلك العصر ستكون المحيطات قد بلغت خصائصها المعروفة اليوم (أنظر جدول الزمن الجيولوجي والتشكلات الجيولوجية). لكن محيطات الأرض السقوية تألفت من المحاليل الناشئة عن التصلب الحامضي للصخور البازلتية . كان الجو خاليا من الاوكسجين تسود فيه يثات رسوية لا هوائية مع ضغوط لثاني اوكسيد الكربون تبلغ حوالي ١٠-٢٠ جواء أو عشرة امثال مستواها اليوم (الضغط الجوي الحالي يساوي ١٤٦٩ رطلا (lb) للبوصة المربعة الواحدة) وفي مثل هذه الاحوال كان (مياه البحر اكثر اخفاضا مما هو عليه في عصرنا هذا، $pH = ٧$ معكوس درجة تركيز ايون الهيدروجين في المحلول، والمحاليل المتعادلة لها $pH = ٧$ ينما تكون المحاليل الحامضية في pH من ٧-٠، وقاعدية في pH من ٧ الى ١٤)، وكانت محتوياتها من الكالسيوم اعلى. وربما كانت البحار ايضا مشبعة بالنسبة الى السيليكات أو الطر اللامتلور أو اللاشكلي (amorphous). وبالإضافة الى ايونات أخرى من الصخور البازلتية ، فان الحديد والكبريت المنقوصين كانا يكونان بنسبتهما الموجودتين في الصخور وقتئذ عند تدني pH من التعادل كانت ايونات الالنيوم تبدأ بالتربس بمثابة الهيدروكسيد وتتحد مع السيليكات لتكوين سيليكات الالنيوم العديدة الكاثيون، وطالما كان كلوريد الهيدروجين يتجاوز ثاني اوكسيد الكربون كانت البحار تبقى متضنة محتويات عالية من كلوريد الكالسيوم ولم تكن الكربونات (Carbonates) لترسب مثلما فعلت في ازمة لاحقة.

فيا كان الجو يتكون بدأت تحدث تغيرات مهمة ففي المستوى الاعلى كان الانشعاع من الشمس ينصل جزئيات الماء الى هيدروجين واوكسجين، فكان الهيدروجين يترب الى الفضاء الخارجي ينما تصاعل الاوكسجين

بسرعة مع الغازات المنقوصة وتحول مرة أخرى الى ماء، واسنر الفصل الضوئي يستهلك بعض الماء على هذا النوال ، لكن لما كان الماء هو المتطير الرئيس المندفع الى السطح بفعل الحركة البركانية ، فانه كان يتراكم بونيرة أسرع بكثير من وتيرة استهلاكه ، وفيما كان ثاني اوكسيد الكربون يتث من البراكين الى الاعلى تحددت كميته في الجو بفعل امتصاصه في البحار ، وبهذه الطريقة بقي مستوى ثاني اوكسيد الكربون في الجو منخفضا نسبيا.

لقد ساد الاعتقاد في العموم بأن حرارة الأرض ارتفعت الى مرحلة حارة في ذلك الزمن دافعة بالماء والمتطيرات الاخرى الى جو كثيف من حيث كانت تكاثف وتنزل في زمن لاحق بعدما كانت الأرض قد بردت بما يكفي لحصول ذلك. لكن ويليام روبي^(٢) (William Rubey)، الذي قام باجراء دراسة لهذا الامر ، وجد براهين مقنعة باستحالة امكان حصول ذلك مطلقا. انما بدلا من ذلك يبدو انه لم يحصل في أي زمن من تاريخ الأرض قط ان وجد في الجو اكثر من مجرد كسر ضئيل من المتطيرات المنتشرة من باطن الأرض.

ان كمية ثاني اوكسيد الكربون المظمور بشكل كربونات (carbonates) وكربون عضوي في الصخور الرسوية تبلغ ستائة ضعف (٦٠٠) أكثر من جميع الكربون الموجود في انطقة (جمع نطاق) الجو البحرية والحياتية والعليا (hydrosphere, biosphere, atmosphere) . ولو كان في الجو مجرد واحد بالمائة (١٪) من ثاني اوكسيد الكربون المحتبس حاليا في الصخور لكان مستوى pH في البحار بأحجامها اليوم قد انخفض من ٨.٢ الى ٥.٩.

تبين ان للتوازن بين ثاني اوكسيد الكربون الموجود في الجو وذلك المنصوص في البحار أهمية عظيمة للغاية ، وذلك لأن ثاني اوكسيد الكربون

الموجود في الجو يخلق ما يسمى بظاهرة المسبب الأخضر . اذ، كالزجاج في
المسبب الأخضر ، ان ناي اوكسيد الكربون الموجود في الجو شفاف للضوء
المرئي ولكنه يمتص الاشعة دون الحمراء المولدة للحرارة . وعندما يمتص
سطح الارض الضوء الساطع عليه من الشمس تقوم المواد الصلبة الساخنة فيه
بإعادة بث قدر كبير من هذه الطاقة بشكل اشعاع دون الحمراء غير مرئي .
فذا كان مستوى ثاني اوكسيد الكربون في جو الارض عالياً فوق العادة فانه
يسجري إعادة امتصاص هذه الطاقة في الهواء بدلا من انبثائها الى الفضاء
الخارجي ، وهذا يؤدي الى ارتفاع حرارة الارض . اما بامتصاص ثاني
اوكسيد الكربون والحفاظ على مستوى تركيزه في الجو منخفضا (حوالي
٠.٠٣٤٪ - اربع وعشرون من الالف بالمائة - اليوم) قد تمكنت البحار
من ضبط ظاهرة المسبب الأخضر على الارض .

ولابد انه في اواخر الازمنة السقرية كان تراكم الحرارة المتولدة عن الاشعاع والذوبان الجزئي للغلاف ، وانتقال الحرارة الى الاعلى في الصحارة ، قد بلغ نفاذوية اسفرت عن تعرض القشرة الاصلية الى تحورات في انحاء

مختلفة من الكرة الأرضية ، كما ان غوص الصخور النارية وبروز اللابا
شبه السطح وعجل بالتآكل فتكونت بذلك الصخور الرسوبية الاولى .

خلال الثلاثة آلاف وثمانمائة مليون سنة التي تلت كانت الصخور المتبلورة من الصحارة في ذلك المشهد البدائي تلعب دورا بالغ الاهمية في العلوم. في عام ١٩٦٦ بدأ فيك ماكجريجر (Vic McGregor) ، وهو خبير جيولوجي شاب من نيوزيلندة يعمل مع فرقة المسح الجيولوجي لغرينلند ، برسم خرائط تفصيلية للمنطقة الجبلية حول فيورد باسم امرليك (Amerlik) على الساحل قرب العاصمة غوتهاب. لم تكن هذه مهمة هينة . فان التويعة العظمى للصخور وترتيباتها المتشابكة جعلت عملية تفسير التاريخ الجيولوجي امرا عسيرا . لكن بعد عدة سنين بدأ ماكجريجر بتنفيذ سياق متميز من الاحداث التي كانت قد تعاقبت على مر العصور . كانت الصخور التي تم تميزها بكونها الاقدم في تلك المنطقة هي صخور نايس اميستوك (Amistoq Gneiss) ، وهي صخور نارية قد تعرضت للاستحالة الشكلية (metamorphosis) والتشوه بفعل قوى جبارة تفعل فعلها على القشرة الارضية . وبحسب تفسير ماكجريجر ينبغي أن توجد صخور كانت قد تكونت حتى قبل صخور نايس اميستوك .

انضم ستيفان موربات (Stephen Moorbat) من اكسفورد الى ماكجرجر في صيف ١٩٧١، وبدأ الخيران الجيولوجيان بتجميع عينات صخرية لارسالها الى انكلترا لمقايضة اعمارها بطريقة النظائر المشعة. وفي ايسوا (Isua) وهي منطقة جبلية تقع على بعد ستين ميلا شمال غرب غوتهاب مباشرة عند حافة الصفيحة الجليدية الداخلية العظمى، كانت شركة للتعدين تقوم بالتقيب في رسوبات ضخمة من خامات الحديد، وهي جزء من قوس عظيم من الصخور البركانية والرسوبية الشديدة الاستحالة يبلغ قطره ما بين سبعة الى خمسة عشر ميلا وبساعة تبلغ ١٨ ميل. عندما وصل ماكجرجر وموربات الى الموقع رأيا ان القوس الصخري كان فوق القشرة، أي انه كان منبسطا على سطح ومخفوا بصخور نايس الفرائيتية مع حافات تلامس مقصوفة ومشوهة.

تم جمع عينات وارسالها الى اكسفورد للمقايضة بالروبيديوم - الترونتيوم (rubidium-strontium) والاورانيوم - الرصاص (uranium-lead) لتحديد اعمارها، وعندما ظهرت النتائج في النهاية وجد ان عمر الصخور كان يبلغ (٣٧٦٠) ثلاثة آلاف وسبعمائة وستين مليون سنة، وعلم ماكجرجر وموربات ان في ذلك المرتفع الموحش المقتر من الارض في الدائرة القطبية الشمالية قرب الصفيحة الجليدية العظمى حيث الصخور مكشوفة عارية بأجمعها، انها كانا يشيان على جزء ما ربما كان القشرة القارية الاصلية للارض (٣).

طوال فترة الدهر السقري كانت الحرارة ترشح الى السطح المواد المتطايرة الملتصقة بالصخور، ومعها تكون نطاق بحري ونطاق جوي بدائيان، وبحلول زمن تكون تشكيلة ايسوا الحديدية قبل ثلاثة آلاف وسبعمائة وستين مليون سنة، كان قد تكون على السطح ما يكفي من الماء لحصول



الامطار والتآكل والترسبات. وباقتضاء الدهر السقري دخلت الارض في الدهر الاركي.

لا بد ان الرشح الاول من الدهر الاركي او العتيق كان فترة التام وتوسع عقب الانفجارات والاندلاعات البركانية العظمى التي اختتمت الدهر السقري. كان التآكل يمتد وينت الجبال البركانية على مر مئات الملايين من السنين ويودع طبقات سميكة من الرواسب على هوامشها. وفيما كان السطح يتعرض للتعرية استمرت حرارة التحلل الاشعاعي في جوف الارض بالتراكم على نطاق واسع في جميع انحاء العالم طوال الحقبة التالية.

ثم في حوالي ما قبل ثلاثة آلاف مليون سنة حين كانت المحيطات تكتسو سطح الارض بطبقة رقيقة، تعرضت الارض لحقبة أخرى من التكون السقري. اذ بعدما انفجر الاتون الجوفي تفتتت القشرة الى شقوق وشقوق عظيمة وأدت الصحارة الذائبة الى تقوض الاقسام المتلاصقة من القشرة وانفكاكها عن الغلاف العلوي وانزلاقها على طبقة من الصخور الذائبة في الفاصل البيني. لم تكن هذه التحركات كبيرة، انما مجرد بقدر سنتمتر واحد او حواله بالسنة، لكنها كانت، على مر الملايين من السنين، كافية لترغم سطح الارض ليفقد هذه الزيادة في قشرته ويحيلها بطريقة ما الى اماكن أخرى. فقد انشطرت القشرة في اماكن أخرى للتفيس عن الضغط المتزايد وبدأ الجزء تحت الضغط ينزلق فوق الجزء المجاور ويدفع معه حافة الفلج في باطن الغلاف تحته.

وفيما غاص السطح المزاح أعنى في الغلاف أخذ يذوب بفعل الحرارة الجوفية الشديدة فتصاعدت الصخور الاخف الغنية بالسليكا الى أعلى بينما هبطت الصخور الحديدية ومغنيسية (ferromagnesian) الى الاسفل. وحيث انزلت احدى حافات السطح تحت الأخرى تتج عن ذلك خندق عتيق برزت



بالتوازي معه المواد السطحية المزاحة وارتفعت الى السطح بشكل صهارة
مكونة قوسا من الجزر البركانية . ولا بد ان هذه الاقواس الجزائية ظهرت
في عدد من الاماكن على وجه الارض .

ان الصهارة المنذلة في شقوق واخاديد قشرة الارض والتي صبست
كميات هائلة من اللابا أصبحت فيما بعد الصخور القاعية للدروع القارية ،
ورغم ان هذه الصخور الاساسية تبلغ من العمر ثلاثة آلاف مليون سنة ،
وهي مطوية ومستحالة الشكل ، فانه يمكن مشاهدتها كتعاقبات طويلة من
اللابا الوسادية يبلغ سمكها اميالا عديدة وتكونت بالتبريد السريع بفعل
انبثاقها تحت الماء . وتوجد أدلة على ان هذه الاحزمة المعروفة بأحزمة الحجارة
الخضراء بسبب مسحتها اللونية الخضراء من الكلوريت (chlorite)
والهوربلند (hornblende) والاييدوت (epidote) ربما كانت مناطق قشرية
انخفضت الى الاسفل بعمق ستة الى تسعة اميال بينما كانت الصخور
والترسبات البركانية تتراكم طبقة فوق طبقة على مر زمن مديد .

لا يوجد مثل معاصر للصخور في أحزمة الحجارة الخضراء بين المناطق
البركانية النشطة المعاصرة رغم انها تبدي بعض الشبه بأقواس جزائية
حالية مثل جزر الكوريل في شمل اليابان وجزر ألوشان الجنوبية الغربية .
في الاغلب تألف الصخور المحيطة بأحزمة الحجارة الخضراء من صخور
الغرانيت ، والعديد من المناطق الاركية يتألف من تعاقبات بركانية قاسية
الغور شديدة الانطواء محصورة بين كتل غرانيتية . لا يزال توزيع الماء
واليابسة في الدهر الاركي غير معروف جيدا ، انما الترسبات والصخور
البركانية كانت تتراكم تحت الماء .

لذلك ربما كانت الاقواس الجزائية كما تبدو عليه اليوم ، مرحلة

وسيلة تطورية مهمة بين القشرة البحرية والقشرة القارية . وفيما ان القشرة
البحرية بازلتية وتشمل سطح الغلاف فان القشرة القارية غرانيتية في معظمها
واكثر سماكة انما أقل كثافة ، أما الاقواس الجزائية فهي من مواد قشرية
اكثر سماكة من القشرة البحرية ولكن ليس بسماكة القشرة القارية وتتألف من
صخور مشتركة في القشرتين .

حصلت مرحلة أخرى للتطور القشري في حوالي اواخر الدهر الاركي .
ففيما انزلت قشرات بحرية تحت الالواح الفوقية المتراكبة ، ارتفعت الصخور
الذائبة المزاحة بفعل طفوها وانتقلت الى اماكن ملائمة لها على هوامش
الاقواس البركانية ، واحيانا كانت الصهارة تبرز فوق القشرة وتصب عليها
تعاقبات كثيفة من الصخور البركانية ، لكنها في الاغلب كانت تبقى غائرة
حتى المرحلة الاخيرة من نشوء الجبال . استمرت نشأة الجبال على مدى
مئات الملايين من السنين ، ثم عندما ضعف الضغط الحاصر فوق الكتلة الغائرة
دفعها طفوها الى الاعلى كالفلينة من خلال القشرة في المرحلة الاخيرة الباهرة
من نشأة الجبال .

وبهذه الطريقة نمت القارات خطوة خطوة من نواتها الغرائبية ، بتراكم المواد الاخف المفلوكة من الغلاف على هوامشها، وعلى ما يظهر تمت كل عملية نشأة الجبال في غضون ستة أو سبعة أحقاب على مدى تاريخ الأرض ، امد كل حقبة منها حوالي ثمانمائة (٨٠٠) مليون سنة.

أدى اندفاع الجبال على هوامش أحزمة الحجارة الخضراء الى تشوه الصخور واستحالتها بشدة، وخلق انخساف الأحزمة سهولا منخفضة تعرف باسم الدروع القارية (continental shield) وهذه هي المجنات (cratous) أو النويات (nuclei) التي نمت منها القارات عبر الأحقاب المتعاقبة لنشأة الجبال . والدرع الكندي أكبر هذه الملامح ويضم كصحن عملاق يحل في وسطه خليج هدرسون . أما الجبال فقد زالت الآن ، بعدما تفتت واندثرت حتى الجذور منذ زمن بعيد ، لكن المنطقة لا تزال باقية بمثابة مستودع فسيح للقرارات الفلزية (mineral deposits)

إن أحزمة الحجارة الخضراء المؤرخة بين ما قبل ثلاثة آلاف وأربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة الى ألفين وخمسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة هي أقدم أحزمة الصخور المستحالة والمشوهة . ومنذ ما قبل حوالي الفين وسبعمائة (٢٧٠٠) مليون سنة فصاعدا أخذت أحواض رسوية فردية تتكون من تحتات الجبال العتيقة ، وربما إن المجنات التي كانت القارات تنمو عليها كانت تؤلف نسبة خمسة الى عشرة بالمائة (٥-١٠٪) من المساحة القارية الحالية قبل ثلاثة آلاف وثمانمائة (٣٨٠٠) مليون سنة ، لكن مساحتها أخذت تنمو ما بين الفترة ما قبل الفين وتسعمائة (٢٩٠٠) مليون سنة والفين وخمسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة خلت الى أن بلغت نسبة خمسين الى ستين بالمائة (٥٠-٦٠٪) من المساحة الحالية. كانت قشرة الأرض قد توطدت واستقرت بما يكفي قبل الفين وسبعمائة (٢٧٠٠) مليون سنة ليتيح للرسوبات لتراكم في أحواض



الشكل ١/٢ - نمو أمريكا الشمالية . تشير الأرقام الى اعمار صخور الرصيف القاري بالآلاف الملايين من السنين.

كبرى دون أن تتغير الضغوط اللاحقة.

كان الجو لا يزال من دون أوكسجين أثناء فترة الدهر الاركي، ولكنه تضمن النيتروجين وربما كان محتواه من ثاني أوكسيد الكربون ما بين أربعة الى عشرة (4-10) اضعف كميته اليوم وحافظ على الجو السفلي مرتفع الحرارة للغاية. وبحسب الخبيرين الجيولوجيين بول كنوث (L. Paul Knauth) وصمويل إيباين (Samuel Epstein) (1) في الدراسات التي أجراها في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا باستعمال التحليل النظائري لست وستين (26) عينة من الصوان (chert) مأخوذة من اواسط وغرب الولايات المتحدة، كان معدل درجة حرارة جو الارض قبل ثلاثة آلاف مليون سنة ربما لا يقل عن (70) مئوية. وهذه النتائج مبنية على قياس الوفرة النسبية لنظائر الاوكسجين والهيدروجين في ماء امالة الخلائط الصوانية من عصور جيولوجية ماضية مختلفة. وتشير البيانات الى ان درجات الحرارة المناخية، مع بعض التقلبات، كانت لا تزال عموما في الهبوط منذ ذلك الزمن.

دام الدهر الاركي الى ما قبل الفين وخمسمائة (2500) مليون سنة، وعند انتهائه كانت القشرة مستقرة بما يكفي لتستوعب مصاطب أو ارضنة ثقيلة من الرواسب وصلبة بما يكفي لتحمل اقتحامات الصهارة، ومنذئذ فصاعداً يصبح العمود الجيولوجي خصائصاً من الرواسب الثوابتية (cratonal) مستودعة في هوامش قارية مغسورة.

وبانتهاء الدهر الاركي حل الدهر البروتيروزوي، وهو زمن طلائع الاحياء وامتد ما يقرب من التي (2000) مليون سنة متتالية عند زمن يقع ما قبل خمسمائة وسبعين (570) مليون سنة، ومن هنا يبدأ الحقب الكبير (Cambrian)، والاحافير (fossils)



الفصل الثالث

الحياة في الازمنة السابقة لما قبل الحقبة الكامبرية

منذ أوائل القرن الماضي والخبراء الجيولوجيون دائبون بهمة متواصلة على وضع تاريخ للطبقات الجيولوجية الارضية بحسب تعاقبها الزمني الصحيح، وفيما اتسعت علومهم اكتشفوا ان مجموعات فريدة من الحيوان تنتمي الى فترات معينة من الزمن دون سواها، وبمكاملة الصخور الرسوبية في جميع انحاء العالم وترتيبها وفق سياقها النظامي مبنياً على التعاقب الحيواني تمكنوا من انشاء عمود من الاحافير عبر التابع الزمني للتكوين الجيولوجي للارض.

كان الجيولوجي الانكليزي آدم سيجويك (Adam Sedgwick) اول من استعمل الاسم باليوزوي paleozoic : او الاجائي الخاص بأحافير احياء الدهور العتيقة) في محاضرة له القاها في عام ١٨٣٨ للدلالة على الدهر في التاريخ الجيولوجي الذي ابتدأت الحياة بالتخض فيه اعتباراً من أول الاحافير بما فيها من النباتات البرية والحيوانات البرمائية وأقدم الزواحف، وسرعان ما تبع ذلك ورود عبارة الميسوزوي أو الدهر الاحيائي الوسيط (mesozoic) الذي شمل حيوانات الدينوصور والزواحف البحرية والطيارة، وتلتها عبارة السينوزوي (Cenozoic) كناية عن الدهر الحديث، من ثم جرى تقسيم الدهور الباليوزوي والميسوزوي والسينوزوي الى أحقاب جزئية وأطلق اسم الحقبة الكامبرية (Cambrian Period) لتبديء مع اول ظهور الاحافير قبل خمسمائة وسبعين مليون سنة من عصرنا الحاضر، وأتبع بأحقاب جيولوجية تعاقبية يتسم كل منها بالاحافير الموجودة فيه.



رغم ان السجل الاحفوري متشظ في بعض الاحوال فانه يوافينا بشهادة واضحة على مبدأ النشوء التطوري، وفي العديد من الخطوط السلالية يمكن رسم التعاقب التسلسلي بتفاصيل في غاية الدقة . ان الاحافير الاكثر عتاقة من الحقبة الكمبرية تشتمل فقط على اللاقريات، ثم تظهر في وقت لاحق فقرات شبيهة الى حد ما بالاسماك تلتهم تدريجيا بالتعاقب لتصبح اسماكا حقيقية، يلي ذلك احافير الحيوانات البرمائية والزواحف وأخيرا الامليسا والنديات . من الواضح ان التابع الزمني يرتبط بعلاقة متبادلة بأبسط اشكال الحيوانات التي تظهر في أقدم الطبقات الجيولوجية ويتصاعد في تعقيد متزايد الى وقت متأخر من التاريخ الجيولوجي .

واذ ندرس الآثار الاحفورية نجد أن طائفة حيوانات أو احياء الحقبة الكمبرية تتضمن نماذج من كل شعبة لا فقرية هامة لكن المجموعتين الاكثر غزارة والاربع اشارا هما الثلاثيات الفصوص (trilobites) والعضديات الارجل (brachiopods)، تقريبا خمسة وسبعون بالمائة (75%) من جميع الاحافير المكتشفة في الحقب الكمبري تتألف من الثلاثيات الفصوص . وقد تبانت هذه المفصليات (arthropods) التي تنسب عن بعد الى السرطان الحدوي الحديث (horseshoe crab) في الحجم من قدر ربع بوصة (1/4 انج) الى ما يناهز قدمين اثنتين وكانت تقتات على المتعضيات المجهرية في البحار وعلى الركام القاعي، غير اننا هنا نصل الى حلقة مفقودة ، اذ لا توجد اية آثار لأية احافير فقرية أو اية نباتات أو حيوانات في البر أو في المياه العذبة طوال فترة انبسين (70) مليون سنة التالية من الحقبة الكمبرية، أي ما قبل 570 الى 500 مليون سنة مضت .

لقد شكل الظهور المفاجيء لطائفة حيوان الحقبة الكمبرية مسألة يولوجية كبرى . فالمتعضيات المكتشفة في هذه الحقب تؤلف أشكالا حياتية



ذات أعضاء وخواص معقدة ومتطورة كذلك التهادي بعض ما نجده في يومنا هذا . فضلا عن ذلك، ولزيادة المسألة غموضا ، نجد أن جميع الشعب (أي التقسيمات المبنية على ملامح تشريحية اساسية) المعروفة اليوم موجودة في الاحافير الكمبرية . وذلك جميعها ما عدا شعبة واحدة هي الحبليات (chordata) التي تؤلف شعبة الفقريات، والتي لم تظهر الا قبل حوالي اربعمائة وخمسين (450) مليون سنة خلت . ان الشعب التي كانت موجودة ظهرت بسرعة دون أي اصل ظاهر . وبالإضافة ، لقد تضمنت اعتق المراقدين الكمبرية ذات البقايا الهيكلية عديدة من مجموعات الثلاثية الفصوص والعضدية الارجل والرخويات Mollusks والشوكيات (Echinoderms) ونماذج من شعب أخرى بلغت في مجموعها نحو عشرين (20) نوعا متميزا ، لكن لم تكن توجد اية دلالة على انتمائها سلاليا الى أصل مشترك ، وبقي امر منشأ نباتات وحيوانات الحقب الكمبرية سرا دفيناً .

ثم في عام ١٩٤٧ فيما كان ريجنالد سبرينج (Reginald Sprigg) ، وهو جيولوجي أسترالي، ينقب في تلال ايدياكارا ، وهي منطقة مناجم مهجورة تبعد عن مدينة اديليد بمسافة ٣٨٠ ميلا شمالا، اكتشف بقايا أحفورية غريبة بالسك الهلامي (Jellyfish) في الطبقات العليا من الكوارتزيت (quartzites) . للوهلة الاولى اعتقد سبرينج انها تعود الى الحقبة الكمبرية السفلية، الا أن مزيدا من التفحص اثبت انها تعود الى زمن متأخر من الدهر البروتيروزوي . جرى تجميع ما يقرب من ١٥٠٠ عينة أحفورية من تلك الطبقات الارضية ، تألف ثلثها من مخططات تتم عن خصائص الجرس السباح لرئة البحر اللااحشائية (swimming of the coelenterate medus)، وما يقرب من ربعها من ديدان حلقية (annelid worms)، والباقي من متعضيات لا فقرية منقرضة^(١) .

كانت تركيبة الطائفة من قبيل البيئة البحرية ، وبينت الدراسات للرواسب



العاوية لها استبداعها في مياه ضحلة، اذ ربما ان المخلوقات شبه الدودية عاشت في مياه ضحلة حيث كانت تنحرب في الطين او تقف على السطح، بينما لا يستبعد ان تكون رثة البحر اللاحشوية قد ضلت الى هناك من عرض البحار، ولم تظهر بينها أية علامات للافتراس كمثل تمزيق ابدان كبيرة.

وقد جرى اكتشاف بعض افراد طائفة ايدياكارا في أماكن أخرى، فقد اكتشف تريفور فورد (Trevor Ford) الشارنيا (Chamia) في انكلترا في صخور بروتروزوية وبعمق يبلغ ستمائة وثمانين (٦٨٠) مليون سنة، كما تم اكتشاف أحفورة شديدة الشبه بالشارنيا في مرتفعات اولنك (Olenck) في شمال سيرايا في صخور أرخت في ما قبل ستمائة وخمسة وسبعين (٦٧٥) مليون سنة مضت.

كانت أحافير العديد من حيوانات الحقبة الكمبرية لا فقريّة ذوات هيكل متفلزة (mineralised) . لكن هذه المتعضيات لم تظهر مطلقاً في أحافير ايدياكارا التي افرت بصمات لحيوانات لينة الابدان أو مسالك وآثار للافقرات العديدة الاجزاء الصلبة . وعلى ما يبدو كان هناك فترة زمنية امتدت ربما مائة (١٠٠) مليون سنة ازدهرت خلالها حيوانات لينة الابدان في البحار ، وبقدر ما هو موجود اليوم، قبل النشوء التطوري للاصداف والهياكل المتفلزة.

ان أهمية طائفة ايدياكارا تكمن في أن الحيوانات تنتمي الى مستوى أبسط في التطور من مستوى الشعب المكتشفة في الحقبة الكمبرية، وهذه الحيوانات لا حشوية وتمثلها اليوم الاسماك الهلامية وشقائق البحر (anemones) والمرجان (corals) واللاحشويات هي حيوانات متعددة الخلايا في المستوى النسيجي من البناء، وهذا يعني في العموم انها عديمة الاعضاء.

والحيوانات متعددة الخلايا الوحيدة التي هي أبسط شكلاً من اللاحشويات هي الاسفنجيات (sponges) ، وهي حيوانات بدائية ينقصها الانتظام النسيجي الواضح وتبدي علاقات مماثلة مع بعض اصناف مستوطنات الاوليات الاحادية او المتماثلة الخلايا (protozoa) ، وكلاهما تنقصه الاطراف التكاملية والقم والاجهزة الهضمية ، وكلاهما يملك صنفاً من التكوين الهيكلي الذي ينتج عناصر فردية أما بواسطة خلية مفردة أو مجموعة خلايا متماثلة . والاسفنجيات ليست جيدة الحفظ كأحافير، ألا انه قد تم العثور على عينات منها تعود الى الحقبة الكمبرية.

لقد أرجعت قياسات الطبقات حاملة الاحافير عمر الحياة الى ما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة ، أي الى بداية الحقبة الكمبرية ومددت أحافير ايدياكارا هذا العمر الى ما قبل ستمائة وثمانين (٦٨٠) مليون سنة خلت . غير ان الطبقات الارضية ليست كلها واقعة في تعاقب وحيد متصل في أي مكان من الارض، ولو جرى تكديس كل الطبقات العليا لجميع العصور اعتباراً من أعتق الاحافير تكديساً رأسياً فان ارتفاع العمود سيبلغ ما يقرب من اربعمائة الف قدم أو ستة وسبعين (٧٦) ميلاً!

مع ذلك، فقد كان واضحاً ان الآثار الاحفورية انتقصت بشكل خطير من عمر الارض . فتحت الكمبرية تقع التشكيلات ما قبل الكمبرية ، وهذه تتألف من طبقات من الصخور البركانية والرسوبية ذوات سماكة هائلة، تضم فترة زمنية تربو على ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة، أي خمسة (٥) اضعاف الزمن منذ أعتق الاحافير . فما الذي حصل اثناء تلك الفترة الزمنية الرهيبة المديدة الى حد اللامعقول والمثلة لما يقرب من خمسة وثمانين بالمائة (٨٥٪) من تاريخ الارض قبل ان تبدأ الشعب الكمبرية باستيطان الارض؟ ان السماكة الهائلة للطبقات الكمبرية تشهد على مضي الملايين اثر

للملايين من السنين وجدت الحياة أثناءها فقط على مستوى الاسفنج والسك الهلامي والثلاية القصوص . توجد في جبال اينيو بكاليفورنيا طبقات تمتد الى عتق أربعة عشر ألف (١٤٠٠٠) قدم او ثلاثة (٣) اميال تتضمن ثلاثيات الاركيوساينيدات (archaeocyathids) وهذه هي صنف من القصوص والطباشيري المنقرض . مع ذلك، هذا العمق لا يمتد الى الحدوث الاسفنج الطباشيري المنقرض . كما توجد أدلة ملموسة على وجود المتعضيات طورت الحياة أول ما ظهرت . كما توجد أدلة ملموسة على وجود المتعضيات الحية على الأرض بزمان طويل جدا قبل حلول الحقبة الكمبرية.

ان اكتشاف أحافير ايدياكارا وغيرها التي عمر عليها تحت طبقات الحقب الكمبري الذي بدأ قبل خمسمائة وسبعين مليون سنة مضت ادى الى اقتصار تعريف الصخور الكمبرية في الطبقات الحاوية أحافير تقرر بأنها تتضمن خصائص كمبرية . وفيما أجري مزيد من المسوحات الجيولوجية ، أصبح واضحا ان الأحافير الكمبرية انبثقت من آثار امتدت الى أعماق احقاب سابقة. فقد اكتشفت في المغرب طبقات تحمل الاسفنج الطباشيري تمتد الى عتق ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) قدم تقع تحت أعق الطبقات الكمبرية ، وهذه بدورها ترتكز على صخور جيرية (limestone) تبلغ ساحتها عشرة آلاف (١٠٠٠٠) قدم وتتضمن البقايا العتيقة من بسكوت الماء (water biscuits) وهي كتل طباشيرية تحوي حصرا وعنايد من آثار أحفورية ذوات الرقائق المتداخلة مركزيا والتي نمت في مياه ضحلة .

والأحافير الأكثر انتشارا وغزارة في ما قبل الحقبة الكمبرية هي البنى المتعوية الشكل (cabbage-shaped) أو الطبقة التورق أو التفرع المسماة بالستروماتوليت (stromatolites) ، وتكون في العموم من الحجر الجيري أو من الدولوميت (dolomite = كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم البلورية)، إلا انها في بعض الاحوال تألف من مادة ظرائية أو سيليكونية (siliceous)

ربما تكونت الستروماتوليتات في بيئة ما بين مدية (intertidal) بنفس الطريقة التي تتكون بها اليوم بفعل السيانوبكتيريا (cyanobacteria) أو الطحالب الخضراء زرقاوية (عفولة) . ان العديد من هذه الأحافير نصف الكروية صغير بحجم زر الثوب، لكن هناك أخرى تبلغ مساحتها آلاف الاقدام ، والقيب الستروماتوليتية العملاقة في سلسلة الحزام بالقرب من منطقة هيلينا بولاية مونتانا في الولايات المتحدة تبلغ حتى خمسة عشر (١٥) قدما في ساحتها وتمتد الى مساحة آلاف الاقدام (٢).

رغم ان الستروماتوليتات تكونت بأغزر وفرتها اثناء الدهر البروتيروزوي الطويل فإن ظهورها الى الوجود يرجع في الحقيقة الى الدهر الاركي، حيث العثور عليها في تشكيلة بونغولا الافريقية (Pongola Formation) المورخة في في حوالي ما قبل ثلاثة آلاف مليون سنة، وهذه مثل أغلب الستروماتوليتات الاحفورية، لا تتضمن اية تفاصيل خلوية ، مع ذلك، فهي تشبه بنى الصنف الذي يتكون في يومنا هذا في جزر البهاما وفي خليج شارك بغرب استراليا (٣)، وقد تم الحصول على تفاصيل خلوية مجهرية من ستروماتوليتات جيدة الحفظ، مع العلم انه لا توجد طرائق لا عضوية معروفة من شأنها تشكيل مثل هذه البنى.

وليست الستروماتوليتات الدليل الوحيد على حتمية امتداد سلالة السيانوبكتيريا الى أصل سحيق للغاية في القدم، فان الاوكسجين بذاته دليل آخر على ذلك، ان احتواء جو الأرض على الاوكسجين بنسبة واحد وعشرين بالمائة (٢١٪) يشكل شذوذا في كون يتألف بنسبة خمسة وسبعين بالمائة (٧٥٪) من الهيدروجين . لقد خلقت عملية التمثيل الضوئي المحررة للاوكسجين جوا مؤكسدا رفع جميع الحياة الى وضع غير مستقر ديناميحراريا (Thermo-dynamically).

ان تأكسد المركبات العضوية تفاعل تلقائي. ومعنى هذا هو ان جميع المدة اليولوجية - من دون اعداد متواصل من الطاقة - ستؤول في النهاية الى الحالة المتأكسدة لثاني أكسيد الكربون والماء. وتستديم هذه الحالة المستقرة بفعل امتصاص الطاقة من ضوء الشمس لاختزال ثاني أكسيد الكربون وتحرير الاوكسجين الذي تقوم طحالب العوالق البحرية (planktonic) بتوليد نسبة تعين بالمائة (٩٠٪) منه. وتدل التقديرات على انه لو توقفت عملية التمثيل الضوئي اليوم فان جميع الاوكسجين الموجود في الجو سيتلاشى في بحر مجرد التي (٢٠٠٠) سنة بفعل امتصاصه في الصخور غير المشبعة بالنسبة الى الاوكسجين^(٤).

بالرغم من فقدان الارض لهيدروجينها الجوي البدائي فان الجو الذي تكون من انبثاق الغازات الباطنية كان ايضا منقوصا وخاليا من الاوكسجين الطليق بالمرة، ولا بد ان المتعضيات المستثملة للضوء استغرقت زمنا طويلا جدا لاكسدة مكونات نفاقي الجو البحري والعلوي قبل امكان تراكم الاوكسجين الجوي الطليق. انما توجد ادلة جيولوجية على ان الاوكسجين الطليق بدأ يتراكم في الجو منذ ما قبل النفي (٢٠٠٠) مليون سنة مضت. خلال الفترة الواقعة بين ما قبل الفين وثلاثمائة (٢٣٠٠) مليون سنة والنفي (٢٠٠٠) مليون سنة مضت حصلت آخر واقعة ظاهرة للتواجد الغزير لفلزي بيرت (pyrite) والاورايت (Uranite)^(٥) الحتاتين السهلي التأكسد، ولو تضمن الجو آنذاك مستويات ملموسة من الاوكسجين لكان هذان الفلزان اللذان تفتا من الصخور وتطائرا مسافات شاسعة قد تأكسدا قبل استقرارهما في الرواسب. وحقيقة عدم وجودهما في رواسب لاحقة كقرارات (deposits) حثانية بفزارة توحى بأن الاوكسجين الجوي كان قد ابتداء يتراكم في هذا الزمن.



وبين ما قبل الفين ومائتي (٢٢٠٠) مليون سنة والى وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت حصلت آخر مرحلة لترسب التشكيلات الحديدية المخططة (banded iron formation) وأعظمها حجما على الاطلاق^(٦). لقد ساعدت الاحوال الاختزالية السائدة في الدهر الاركي وأوائل الدهر البروتيروزوي على تكون الفلزات المحتوية للحديد الثنائي التكافؤ (ferrous iron) من تغير الصخور البازلتية. والفلزات المميزة الموجودة في التشكيلات الحديدية هي السيدريت (siderite) وهو كربونات الحديد (iron carbonate)، والفرنسالييت (greenalite) وهو سيليكات الحديد (iron silicate)، والبيريت وهو كبريتيد الحديد (iron sulfide)، ممتزجة بحجر الصوان الخام (chert) وهذا بالاصل هو الفلر أو السيليكات اللاشكلي (amorphous). لكن كثيرا ان لم يكن الاغلب من تشكيلات الحديد كانت احيائية التكون. ان أملاح الحديد الثنائية التكافؤ قابلة للذوبان نسبيا، بينما الحديد المؤكسد غير قابل للذوبان. وقد أدى تحرير الاوكسجين من قبل المتعضيات المستثملة للضوء الى تأكسد الحديد الثنائي التكافؤ وأسفر عن قرارات من الحديد المترسب او المتساقط (precipitated) وأصبحت هذه تشكيلات حديدية مخططة، وهي صخور فريدة تتألف من طبقات متناوبة من السيليكات الغني بالحديد والسيليكات الفث الحديد تشل بالتعاقب رواسب متساقطة مخططة.

ليس من المؤكد فيما اذا كانت مناطق الحديد الصواني في تشكيلة ايسوا الواقعة في غرينلند^(٧) البالغة من العمر ثلاثة آلاف وسبعمائة وستين (٣٧٦٠) مليون سنة او مجموعة الانفرواكت الافريقية البالغة من العمر ثلاثة آلاف وأربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة قد نتجت عن نشاط يولوجي، فان الحقبة الرئيسة الاخيرة لتشكيل الحديد المخطط كانت خلال الفترة من ما قبل النفي (٢٠٠٠) مليون سنة الى الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت، وجرت اضافة الاوكسجين الى الجو بعد ذلك عندما كان الكثير أو أغلب الحديد قد



تأخذ . أما القارات الحديدية التي تكوّن في أزمنة جيولوجية أكثر حداثة فهي مرآة حراء حيث العجائب الفردية مطوية بأوكسيد الحديد

الثلاثي الكافل (erric oxide) .
وهكذا يمكن اقتفاء أثر باليوكيمياء (paleochemistry) الأوكسجين إلى الدهر ما قبل الكمبري في طبقات جيولوجية حراء وحجارة جيرية . وإلى ذلك العهد تعود أيضا النحلات المتضمنة لمرآة الكربون الصافي تقريبا التي اكتشفت في ميشيغان وفي فنلندا ، أنه من الصعب تفسير هذه ما عدا القول بأنها في الظاهر كانت قد تكوّن بفعل حياة مستثلة للضوء جيدة التنظيم ، وبالرغم من براعة بعض الأدلة على أشكال الحياة الأولية ، فإنه من الواضح أن هذه هي متوجات الحياة التي قامت ما قبل الحقبة الكمبرية وليست أحافير لمتعضيات فعلية .

غير أنه في أوائل الخمسينات من هذا القرن كان ستانلي تايلر (Stanley Tyler) وهو من قسم الجيولوجيا بجامعة ويسكونسن ينقب عن الحديد على سواحل ميشيغان بحيرة سوپريور عندما عثر على مكان من فحمية عتيقة تضمنت ما بدا له أنها نباتات مجهرية . فقام بعرض عينات من هذا الفحم على ويليام شروك (William Shrock) رئيس قسم الجيولوجيا في معهد ماشوسيتس قينة من الهلام ترك مفتوحة لفترة أطول مما ينبغي واقترح على تايلر أن للتكنولوجيا فظن شروك أن النباتات تبدو شبيهة بالفطر الذي يتكون على قشرة من الهلام ترك مفتوحة لمدة أطول مما ينبغي واقترح على تايلر أن يعرضها على الخير النباتي إيلسو بارغورن (Elsie Barghoorn) من جامعة هارفارد .

كانت نتيجة هذه الاستشارات أن انضم تايلر وبارغورن معا في رحلة ميدانية إلى الموقع لأجراء دراسة أكثر دقة ، وأدى البحث عما كان قد غُضِن لفقة الفحم إلى عبور الاثنين إلى الجانب الكندي حيث وجدا سجّلا أسود



(black shale) وحجارة صوانية (chert) يعرفان باسم تشكيلة الصوان الوري (Gunflint Formation) ، وهي طبقة من الصخور ما قبل الكمبرية تقع على الساحل الشمالي لبحيرة سوپريور قرب مدينة شريبر بمقاطعة أونتاريو مباشرة إلى الشرق من خليج الرعد . وهذا الحجر الصواني الوري مغلى بالسجل ويعتبر في العموم ميدل هورين أوف كنديان شيلير نسبة إلى بحيرة هورون الواقعة في هذه المنطقة أو قبيلة هورون الهندية التي كانت تقطن هذه المنطقة) .

أخذت عينات من الحجر الصواني وجرى قصها بنشار ماسي إلى شرائح رقيقة لدرجة أنه بإمكان الضوء أن يتخللها . قام تايلر وبارغورن بقص أكثر من ثمانمائة (٨٠٠) شريحة رقيقة لأجراء الدراسات عليها ، وجرى استعمال حامض الهيدروفلوريك (Hydrofluoric acid) لإذابة حجر الصوان المكتن وتحرير شظايا من النباتات البدائية والفضالة العضوية من البوغات (spores) والشعيرات ، وتم فرز خمسة أشكال مورفولوجية متميزة من أحياء المنطقة الحيوانية والنباتية (morphological forms of biota) ، منها اثنان طحلبية واثنان فطرية (fungal) وواحد بدا أنه سولي طباشيري (calcareous flagellate) . بدت هذه النباتات الدقيقة البسيطة جدا بأنها نماذج من السيانونوبكتيريا وأشكال بسيطة من الفطر . أرخت تشكيلة الصوان الدرّي هذه في ما قبل ألف وتسعمائة (١٩٠٠) مليون سنة إلى النفي (٢٠٠٠) مليون سنة مضت ، مما جعل هذه الأحافير في ذلك الزمن من أقدم المتعضيات المحفوظة بنيويا (٨) .

وفي بحث لاحق في عام ١٩٦٥ أعلن بارغورن وتايلر (٩) عن اكتشاف صفيحة (array) من الأحافير المجهرية لنماذج أخرى من تشكيلة الصوان الدرّي ، وعرضا فيها اثني عشرة تجميعية من الأحافير المجهرية الشعيرية والكربونية الأحادية الخلية ، وبدت الكربونية من شكليتها المورفولوجية بأنها



تتمي الى الطحالب الخضراء زرقاوية القملية (coccoid blue-green algae) ، بينما اتتمت الاحافير الشعيرية او الخيطية (filamentous) الى بكتيريا الحديد المسماة بالسفيروتيلاس (sphaerotilus) والسيدروكوكاس (siderococcus) . كانت هذه كلها عينات ممتازة محفوظة بتفلز البنية الخلوية في قالب سيليكوني . فهنسا كانت مطبورة في حجر صواني عمره الفا (٢٠٠٠) مليون سنة بقايا المتعضيات المجهرية التي عجلت في ترسيب التشكيلات الحديدية حجرية وولدت الاوكسين الطليق الذي جعل الحياة المستقبلية في ذلك العهد ممكنة .

بعد ذلك بقليل تمكن ويليم شوبف^(١٠) (William Schopf) ، وهو طالب تخرج سابقا على يدي بارغورن ويعمل حاليا في جامعة كاليفورنيا في لوس انجليس ، من العثور على تجمعات مختلفة من الاحافير المجهرية النباتية بأشكال شمعية وكرية جيدة الحفظ للغاية في تشكيلات النبع المر (Bitter Spring) في المقاطعة الشمالية من اوستراليا حصلت هذه الاحافير من الاحياء المجهرية (microbiota) في صخور صوانية كاربونية تقع في الطبقات العائدة الى الدهر ما قبل الكمبري المتأخر والكائنة في منطقة نهر روس في اوستراليا الوسطى ، وقدر عمرها بحوالي الف (١٠٠٠) مليون سنة . كانت هذه الاحافير قد نشأت من الطحالب التي كانت على ما يظهر قد نمت كصفائح رقائقية او حصران في بيئة بحرية وكونت ستروماتوليت طحلبية واسعة الانتشار . ومن بين التسعة عشر (١٩) نوعا التي عثر عليها شوبف كانت اربعة عشر منها من فصائل طحلبية معاصرة . فقد كانت الطحالب الخضراء زرقاوية الشعيرية منها والكربية القملية منتشرة على نطاق واسع آنذاك ولا بد انها كانت ايضا متنوعة للغاية في هذا الزمن ما قبل الف مليون سنة خلت .

على ما يظهر ان هذه البانوبكتيريا كانت مزدهرة فيما قبل الف مليون سنة خلت ويحتمل كثيرا انها هي المسؤولة عن الستروماتوليت البولواوائية

(Bulawayan) الكائنة في زيمبابوي التي تكونت في ما قبل الفين وستائة (٢٦٠٠) مليون سنة ، وايضا الستروماتوليت البونغولية (Pongolan) التي يمتد اصلها الى ما قبل ثلاثة آلاف ٣٠٠٠ مليون سنة خلت . ومهما تكن هذه النباتات ضاربة في البساطة فلا بد انها كان لها اسلاف تواجدت حتى في ما قبل زمنها ، متعضيات مجهرية اكثر عتاقة حتى من اقدم الطحالب الخضراء زرقاوية . ومن هنا اصبح احد اهداف الدراسة الباليوتولوجية اجراء البحوث لدفع الآثار الاحفورية الى الوراء وتقريبها قدر المستطاع من اللحظة الاولى التي بدأت فيها الحياة على الارض .

في عام ١٩٦٥ كان بارغورن يجمع أحجارا صوانية من اماكن عديدة في اراضي جبل باربرتون (Barberton) من المنطقة الواقعة في شرقي الترانزفال بجنوب افريقيا قرب الحدود السوازيلاندية حيث تجري مياه نهر اومبليزي من خلال التلال المتسوجة في طريقها الى موزامبيق والمحيط الهندي . تتألف اراضي جبل باربرتون من بضع مئات من الاميال المربعة تكونت من أحزمة الحجارة الخضراء الاركية التي تمتد اعمارها الى ما قبل ثلاثة آلاف واربعمئة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت ، وتتألف سلسلة سوازيلاند من هذه التشكيلة من مجموعة شجرة التين القائمة على سلسلة الانفرواكت . يكثر الكربون على نطاق واسع في هذه التشكيلة ، كما يوجد السجيل ايضا في بعض الاماكن التي كانت قد تحولت الى صخور صفائحية بركانية نقشية (graphic schists) بفعل الاستحالة الميتامورفية او الشكلية (metamorphism) ، وبعض الحجارة الصوانية السوداء هنا تتضمن ما لا يقل عن نسبة عشرين بالمائة (٢٠٪) مواد عضوية .

قام بارغورن وشوبف بفحص مجموعة شجرة التين بالمجهر الضوئي ووجدوا ان المصفوفة الصخرية (rock matrix) تتضمن العديد من الرقائق الطبقة تتألف من جسيمات قاتمة اللون معتمة تقريبا من المواد العضوية . أو

هي ارتصاف الرقائق بموازاة طبقات الصخر الصواني (chert) الى أن الاستيداع او الترسب (deposition) كان قد حصل في بيئة مائية . ولم يمكن رؤية أي شيء يشبه احافير المتعضيات المجهرية بالمجهر، ألا أن شوبف قام بصقل سطح المقاطع الصخرية ثم نظر اليها من خلال مجهر الكتروني، وتمكن الآن في هذا التكبير الاعظم أن يرى ما لم تسبق رؤيته قبلا. فقد وجد بنى كالقضبان طولها ما بين (٠.٥) الى (٠.٧) ميكرون وبأقطار قدرها (٠.٢) ميكرون . كانت هذه مشابهة للبكتيريا القضيبيية الكسم ! كما وجد ايضا في وقت لاحق احافير مجهرية كرية يبلغ قطرها (١٧) الى (٢٠) ميكرون شبيهة بالطحالب الخضراء زرقاوية من المجموعة القلمية الحديثة . وعلى الاجمال تم اكتشاف تسع وعشرين (٢٩) عينة واضحة المعالم في أحافير الاحياء المجهرية ، وهي أحافير لما بدا انها بكتيريا عاشت على الارض قبل ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون الى ثلاثة آلاف وثلثمائة (٣٣٠٠) مليون سنة مضت (١١).

بنفس الوقت كان هانز بفلوغ^(١٢) (Hans pflug) من جامعة يوستوس ليبينغ بفيسن (Justus Liebig, Giessen) بألمانيا الغربية ، يقوم بفحص أحجار صوانية وسجل من رواسب شجرة التين بحثا عن بقايا عضوية بنيوية ، وبالفعل وجد تجمعات لبقايا متعضيات في العينات المأخوذة من المنطقة الواقعة على مقربة من منجم ذهب سبأ بجوار باربرتون . وكشفت الدراسات الكيميائية والنظرية للمواد العضوية ان هذه البنى تتضمن جدراناً خلوية مما حدى بفلوغ الى اقتراح تشابه لها بالسيانوبكتيريا الاوكالية (ocalean)، وحددت المقاييس الاشعاعية عمرها بثلاثة آلاف ومائتي ٣٢٠٠ مليون سنة.

لا بد من اعتبار هذه الاحافير المجهرية من مجموعة شجرة التين تقريبا يقينا من اصل بيولوجي ويغلب الاحتمال بأنها بقايا متعضيات مجهرية شبيهة بالطحالب أحادية الخلايا. فالتركيب العضوية والشكلية الثابتة ومحدودية



مدى تباين الاحجام، والمظهر المتشابه بالاحافير المجهرية الجيدة الحفظ من احجار الصوان الوري والطحالب الخضراء زرقاوية من تشكيلة النبع المر ، كلها أدلة قوية على شكل حياتي شبه طحالي لا استيطاني احادي الخلية تواجد على الارض قبل أكثر من ثلاثة آلاف مليون سنة.

وفي عمق قدره تقريبا خمسة وثلاثين الف (٣٥٠٠٠) قدم تحت مجموعة شجرة التين تقع سلسلة الانفرواكت على مساحة قدرها اربعمائة (٤٠٠) ميل مربع من الجزء الجنوبي من منطقة ارض الجبل، وتبلغ سماكة هذه السلسلة خمسين الف (٥٠٠٠٠) قدم. في عام ١٩٦٨ أعلن اينغل وآخرون^(١٣) (A.E.J. Engel and others) اكتشاف بنى مجهرية كروية وكأسيية الكسم في هذه المجموعة من الصخور الاركية ، تراوح حجم خمسمائة وتسعين (٥٩٠) بنية ما بين ستة الى مائة وثلاثة وتسعين (١٩٣) ميكرون بدون سيادة أي حجم مفرد بينها. غير ان هذا التباين البالغ ثلاثين ضعفا بدا انتشارا أوسع بكثير مما يمكن معه اعتباره رمزا خصائصا لمنظومات بيولوجية منتظمة.

في أعقاب هذا التقرير او الاعلان قام جيم بروكس (Jim Brooks) ومارجوري ميور^(١٤) (Marjorie Muir) بتحري عينات من طبقات انفرواكت أولا بمعالجة شرائح من الصخر غير المسحوق بنسبة عشرين بالمائة (٢٠٪) من حامض الهيدروفلوريك لهضم المصفوفة اللاعضوية ، وتمكنا من استحصال فضلة مركزة قاتمة من المادة العضوية تمثل ما بين (٠.٢) الى (٠.٨) بالمائة بالوزن من العينات. وعند معاينتها بالمجهر الالكتروني تبين ان المواد العضوية كانت بقايا أحفورية لما ظهر انه جدران خلوية لمتعضيات مجهرية تألفت من صنفين أساسيين اثنين، الاول بشكل كريات يبلغ قطرها (٧ الى ١٠) ميكرون، والثاني بشكل شعيرات بحجم (١٥ الى ٢٠) ميكرون ، وأظهرت أحافير



التمضيات الجعرة منه تدايات مورفولوجية مع تلك المكتشفة في مجموعة
شجرة التين العرة والاكثر حنافة.



شكل ١/٢ - حفرة مجعرة من تشكيلة انفراخت

كشف الاستخراج والتحليل الكيميائيان للمادة العضوية المأخوذة من
مجموعة شجرة التين عن احتوائها على (٠.٠٠٣ ر. الى ٠.٠١٥ ر.) جزءا بالمليون
من الهيدروكربونات الالفاتية (C15—C25: aliphatic hydrocarbons)
ومقادير أكبر من البرستان (C19 C40: pristane) ^(١٥). وتضمنت أحجار
انفراخت الصوانية هيدروكربونات اليفاتية طليقة، وحوامض دهنية
(fatty acid)، وبرافينات عيارية (C12—C24: n-paraffins)، وبرستان،
وفيتان (phytane) ^(١٦). ولما كان البرستان والفيتان من الهيدروكربونات شبه
الايسوبرينية (isoprene 9. isoprenoid) هو سائل عديم اللون متطاير يستحضر
من التقطير الجاف للمطاط الخام أو اصطناعيا) فان هذا يدل على ان المادة
من أصل حياتي. الا انه عند قيام ناجي (Nagy) ^(١٧) بفحص مسامية وترشحية
(porosity and permeability) حجر صوان الانفراخت، تبين انه من الممكن
ان تكون الهيدروكربونات منتضحة (percolated) في الصخور بالتقطر من
الاعلى.

مع ذلك، فقد كانت اغلب المادة العضوية في الصخور من الكيروجين
(Kerogen) وهي مادة قيرية صلبة في بعض السجيل تدر البترول عند
تسخينها)، وهو فضالة عسيرة الطرق كان يمكن أن تكون في مكانها. قامت
دوروثي اوهرل ^(١٨) (Dorothy Ohler) بتحليل الكيروجين بطريقة مختلفة
اثاء عملها على اطروحتها مع شوبف بجامعة كاليفورنيا ببلوس انجلوس، وأبدت
التمضيات المستمثلة للضوء تفضيلا لـ C15O2 على C13O2 عند امتصاصها
لثاني اوكسيد الكربون. وببقاينة نسبة C13/C12 في الكيروجين، أمكن
التثبت ما اذا كان هذا قد تأتى من التمثيل الضوئي أم لا، واوحت النتائج
التي حصلت عليها اوهرل بـلايجاب وان الاوتوتروف (autotrophs) او الذاتيات

الاغتناء القادرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون كانت موجودة على الارض قبل اكثر من ثلاثة آلاف مليون سنة^(١٩).

وباستعمال طريقة نظير الكربون (carbon isotope) قام شوبف وتلامذته بدراسة اقدم الستروماتوليت المعروفة آنذاك، وهي تلك المأخوذة من تشكيلة بولاويو، وبالنتيجة ابد هؤلاء ان هذه البنى كانت قد اختلقت بفعل المتعضيات المستثلة للضوء، واقترح شوبف^(٢٠) ان عمرها المحدد بألفين وستائة (٢٦٠٠) مليون سنة قد يكون تقديرا في غاية التدني لزمان نشأة الطحالب الخضراء زرقاوية او البكتيريا المستثلة للضوء كمجتمعات بيولوجية متكاملة شعيرية. فقد يمتد اصل الطحالب الخضراء زرقاوية أو في الاقل الاسلاف الضوء بكتيرية (photo bacterial) لجميع الطحالب الموجودة اليوم الى أقدم الاحافير المعروفة للمتعضيات المجهرية على الارض، وهي تلك المأخوذة من سلسلة اتفرواكت والاحافير المائلة لها مورفولوجيا المكتشفة في مجموعة واراوونا (Warrawoona Group) في نورثول بغرب استراليا، والتي وجدت أن عمرها يبلغ ثلاثة آلاف وخمسة (٣٥٠٠) مليون سنة^(٢١).

كما قد تم اكتشاف أحافير مجهرية مائلة من الدهرين الاركي والبروتيروزوي تشبه البكتيريا والطحالب الخضراء زرقاوية في مقاطعة اوتاريو بكتدا، وفي شرق كاليفورنيا، وفي جنوبي افريقيا، وأستراليا الوسطى والجنوبية، والاتحاد السوفياتي^(٢٢). انما توجد درجة من الريبة او اللامعلومية حول البنى المنتظمة التي يربو عمرها على الف مليون سنة، لأن المادة العضوية عادة تتجمع في كريات، ولذلك فان هذا لوحده لا يكفي لتثبيت اصل العمر الحيائي. ومن بين البنى المجهرية الشبيهة بالاحافير والاكثر قدما من الف مليون سنة التي تم وصفها حتى الآن، ربما ان العديد منها لم

تكن أحافير متعضيات^(٢٣). مع ذلك، فإن الستروماتوليت التي يحتمل انها من اصل طحلي كانت مزدهرة في ما قبل ثلاثة آلاف مليون الى ثلاثة ومائة مليون سنة خلت، ويمكن ان تعود الطحالب المسؤولة عن نشوئها الى اشكال شوهدت في الصخور الرسوبية لمجموعة شجرة التين وسلسلة اتفرواكت وايضا في صخور مجموعة واراوونا.

ويفترض ان هذه المتعضيات المجهرية المحتملة من الدهر الاركي كانت من نوع البروكاريوت (procarvates) وهي ابسط شكل معروف للخلية الحية. ولا بد ان خلية اليوكاريوت (Eucaryote)، وهي صنف الخلف البيولوجية الاكثر تقدما وتعقيدا الذي أدى الى نشأة جميع اشكال الحياة اللاحقة، كانت قد ظهرت في زمن ما في الدهر ما قبل الكمبري، واذا كان بريستون كلاود (Preston Cloud)، الخبير الجيولوجي بجامعة كاليفورنيا بساتابريارة، مصيبا في رأيه، فان خلايا اليوكاريوت ظهرت الى الوجود في فترة ما قبل الف مليون سنة والف وثلاثمائة مليون سنة خلت.

في عام ١٩٦٦ قام كلاود والعاملون معه بتجميع عينات من الحجر الصواني الاسود الواقع في عمق ١٨٥ متر تحت الملامسة العلوية لأحجار دولوميت بيك سبرينغ (Beck Spring Dolomite) في شرقي كاليفورنيا، وكشفت دراسة شرائح رقيقة منها عن وجود أحاديات الخلايا واجسام شبه بوجية شوكية جيدة الحفظ فيها. كانت هذه الاحافير للالة من الكسرات (shapes) الشعيرية والكروية (spherical) المجهرية مشابهة لمتعضيات مجهرية محتفزة او متحجرة اقدم باستثناء فارقين مهمين اثنين، فقد كانت هذه اكبر بكثير من الاشكال (forms) الاقدم، وبعض الاشكال الشعيرية كانت متفرعة^(٢٤). وتبين التحليلات الحديثة للاحافير المجهرية من حيث الحجم والتوزيع ان اليوكاريوت أكبر بحوالي عشرة اضعاف من البروكاريوت^(٢٥).

توجد بروزات صخرية (outcrops) متضمنة للأحافير في عمق (٢٩٠٠) متر تحت أعماق الأحافير الأثرية (trace fossils) للتوالي أواحياء الدهر الوسيط (metazoa)، وهذه أقل عمرا من ألف وسبعمائة (١٧٠٠) مليون سنة. وقد جرى تسبب هذه إلى مجموعة أخرى مؤرخة بعمر يبلغ ألف ومائتي مليون سنة إلى ألف وأربعمائة مليون سنة. أن الأحافير الأكثر عددا من أماكن مختلفة هي تلك الخاصة بالسيانوبكتيريا الشعيرية المصنفة في الجنس (genus) الجديد المسى بكسبرنغيا (Beckspringia). وبعد دراسة النباتات المجهرية في التشكيلات ذوات الأعمار المثبتة حاول ليكاري (Licari) وكلاود درج أصل اليوكاريوت بين ما قبل ألف وثلاثمائة مليون إلى ألف وستمائة مليون سنة خلت (٢٧).

يوجد نزاع حول زمن نشوء اليوكاريوت. فان هيلين تابان (٢٨) (Helen Tappan) من جامعة كاليفورنيا بلوس انجليس، تعتقد أن اليوكاريوت تواجدت في زمن تشكيلة الصوان الوري قبل ألفي مليون سنة، لكن نول وبارغورن (٢٩) (Knoll)، من جهة أخرى، ينفيان تواجد أروغانيلات (organelles) خلوية متجبرة وظهور الخلايا اليوكاريوتية قبل التوالي، غير أنه إذا صح رأي بريستون كلاود، وجيرالد ليكاري، وآخرين، حول أحافير دولوميت بيك سبرنغ، فإن هذه الأحافير ستؤثر أعظم اقتحام بيولوجي في تاريخ الحياة على الأرض، ألا وهي الخلية اليوكاريوتية.

ولا يزال سجل الأحافير متقطعا بالنسبة إلى الفترة الانتقالية من المتعضيات المجهرية الأحادية الخلايا لما قبل ألف مليون سنة إلى أحياء أيدياكارا المؤرخة في ما قبل ستمائة مليون سنة خلت، عندما ظهرت التوالي أو الحيوانات المتعددة الخلايا مع خلاياها منظمة في طبقات من النسيج، إلا أنه قد ظهر

اكتشاف في السنين السبعينية من هذا القرن ربما قد ساعد في اجتسار الثغرة. فقد أعلن بوين بلوزر (Bonnie Bloeser) وشوبف من جامعة كاليفورنيا بلوس انجليس، وروبرت هورودسكي (Robert Horodyski) من جامعة طولان (Tulane) وويليام بريد (William Breed) من متحف شمال أريزونا (٢٠) أعلنوا عن عثورهم على أحافير مجهرية في صخور دهر ما قبل الكامبري في وادي غراند كانيون تبدو أنها تنتمي إلى المجموعة المتميزة لمتعضيات العواق البحرية الأحادية الخلية المسماة بالقرنيات (chitinozoa) التي تبلغ من العمر سبعمائة وخمسين مليون سنة. — مائة مليون سنة، ويعتقد أن القرنيات من الميتروتروف heterotroph أي العضوية الاغذاء، وهذا يعني أنها، كباقي الحيوانات، لا تستطيع إنتاج غذائها وإنما تعتمد على التمثيل الضوئي للنباتات، والقرنيات هي الميتروتروف التي تقع بين الحيوانات المتعددة الخلايا والطحالب الأوتوتروفية.

الفصل الرابع - عصر البروكاريوت

كانت الارض قد دارت حول الشمس اكثر من الف (١٠٠٠) مليون مرة قبل ظهور حتى ايسر اشكال الحياة التي تركت أثرا يدل على وجودها ، وكان ذلك عالما مختلفا كثيرا جدا عن عالمنا الذي نعرفه اليوم ، وتآلف السطح المقفل الصخري الذي برز فوق البحار البدائية من وجهه البراكين السوداء والقائمة الممتدة . لم يتضمن الجو أي اوكسجين وتآلف من النيتروجين وبعض الهيدروجين وأول وثاني اوكسيد الكربون . كانت نسبة ثاني اوكسيد الكربون أقل من واحد بالمائة (١٪) ولكنها مع ذلك كانت عشرة اضعاف تركيزها في الوقت الحاضر ، بينما كانت البحار مجرد أحواض ضحلة من الغسالة الحارة للسطح البازلتي .

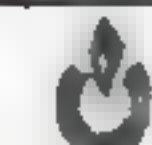
تآلفت الرواسب من تآثر الحثات الناتج عن تآكل الصخور البازلتية في معظمها الناشئة عن أصل بركاني متساقطة في بيئة بحرية لا هوائية ، وأدت الاحوال الانتقاصية للجو والبحار الى ترشح كميات هائلة من أيونات الحديد الثنائي التكافؤ والكبريتيد الى مياه البحار . لم تبدأ البحار باتخاذ خصائصها العصرية الى أن سادت إعادة تدوير الرواسب على تآكل الصخور البازلتية وتضمن الجو قدرا من الاوكسجين المطلق . لكن هذا العصر كان آنذاك لا يزال بعيدا جدا في المستقبل .

كانت تلك بيئة غريبة نازعة ومختلفة كليا لما نعتبره اليوم ملائما للحياة . انما هذا كان مقدرا ليحصل ، اذ قبل أكثر من ثلاثة آلاف واربعمئة (٣٤٠٠) مليون سنة تكتل تجمع صغير وبسيط نسبيا من المركبات العضوية في غشاء دهني وبدأ يحتضن تفاعلات بدائية ، تناسخت الخلايا التي تمكنت من



امتصاص المواد المتوفرة وتكثيفها في مركبات من البولي نووتيد (polynucleotides) والبولي هسيتيد (polypeptides)، واتخذت طبيعة البكتيريا البدائية، ونشأ التأييض (metabolism) عن التفاعلات التي تمكنت الخلايا من استعمالها لتحليل المواد وتحويلها الى طاقة كيميائية لها ولتفاعلاتها التكاثرية. ولانجاز هذا تحتم اختزان الطاقة الكيميائية في حامل (carrier) ونقلها الى جزيئات أخرى ليتسنى تحويلها الى مشتقات نشطة. كانت مشتقات البيروفوسفات (pyrophosphates)، ولاسيما ثلاثي فوسفات الادينوسين (ATP = Adensine Triphosphates: أتب)، من المشتقات المتخذة لهذا الغرض في وقت مبكر وربما كانت الاولى مطلقا. ومتى ما تم تكوينها، كانت هذه المشتقات المنشطة مخزنة طاقويا لاتباع التحلل التلقائي، وهي تفاعلات تنشأ وتم ذاتيا لكنها في الاغلب تكون بطيئة ما لم يجر تحفيزها بمحفز مساعد (catalyst).

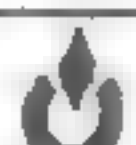
ربما ان هذا المستوى من التطور لم يلبث أن افضى الى نشوء متعضية أخرى ملكت القدرة على ان تستمد كاربونها من الموجود الغزير من ثاني اوكسيد الكربون. لكنها لكي تتمكن من القيام بهذا كانت بحاجة الى مصدر للطاقة والى الهيدروجين، انما كلاهما كانا متعرضان بفزارة، وكل ما مست حاجتها اليه كان طرائق كيميائية لتستخدمها في استخراجهما وتسخيرهما. كانت الشمس تغمر سطح الارض بكميات لا حصر لها من الاشعاع، فكانت المواد الملونة تمتص الضوء المرئي وتحوله الى حرارة، فبدلا من تبديد الطاقة الضوئية وضياعها كطاقة حرارية، كان يجري تناولها واختزانها في بنية كيميائية لفترة زمنية تكفي لاستخدامها لتوليد ثلاثي فوسفات الادينوسين (أتب) واختزال ثاني اوكسيد الكربون فيتوفر للمتعضية خزين من الطاقة حتى عندما لا تتوفر مواد تغذى منها.



على ما يبدو ان هذه هي المرحلة التي ظهر فيها الفريدوكسين لأول مرة (Felledoxin = بروتين يتضمن حديدا يتواجد في جيلة الخفسور - الكلوروبلاست chloroplast - وهو عامل اساسي في عملية التمثيل الضوئي). واندمجت هذه المادة البيوكيميائية المتكونة من مشبوكة (complex) من الهسيتيد وكبريتيد الحديد الغزير في الجهاز البيوكيميائي (biochemical system) وبقيت فيه كمكون عام شائع في الخلايا الحية منذ ذلك الحين. وقد تمكن الفريدوكسين، بصفته أحد مكونات جهاز التمثيل الضوئي (photosynthetic apparatus)، من تقبل طاقة الضوء المتصة في الصبغات واختزانها على مستوى الطاقة الالكترونية (electron energy level) لحين مساس الحاجة الى استخدامها لاختزال ثاني اوكسيد الكربون.

آنذاك كانت أول متعضية مستقلة للضوء، ستحتاج الى خضاب أو صبغة وفريدوكسين ومصدر للهيدروجين، ولا بد أن المورد الاول للهيدروجين الى المتعضية البادئة كان المواد التي تطلبت أقل قدر من المورد توفر في المواد العضوية الواقعة في المتناول.

تشير الفرضيات الى ان الهيتروتروف (heterotroph) كانت أولى المتعضيات المختلفة في الوجود وكانت تعاش من مؤايضة خزين من المواد العضوية، ولكنها فيما بعد استبقت شكلا بدائيا من التمثيل الضوئي عند شحة مواردها الغذائي، ولا يزال يوجد اليوم بكثيرة مختصة تعرف باسم اثيوروداسيا (Athiorhodacea) تبدو انها منحدره من هذه المرحلة الاولى من الحياة. وبوسع الاثيوروداسيا أن تنمو لا هوائيا كهيتروتروفه في محاليل تتضمن حامض البيوتريك (butyric acid) أو الزبدك وغيره من المغذيات العضوية باستخدام الطاقة الكيميائية التي تستمد منها. انما بوسع هذه المتعضية ايضا ان تمتص الضوء وتقوم بعملية نقل الهيدروجين بالتحفيز الضوئي



واختزال ثاني اوكسيد الكربون ، ومصدرها (photocatalytic transfer) هذه الحالة هو المادة العضوية غير القابلة للاستفاد .
 للهيدروجين في هذه الحالة هو المادة العضوية غير القابلة للاستفاد .
 لكن الحاجة أصبحت تتطلب مصدراً آخر من الهيدروجين عندما لم تعد
 المادة العضوية توفر بسهولة أو نضبت كلياً، وهنا نشأت بكتيريا مستثملة
 للضوء تلك القدرة على استخدام كبريتيد الهيدروجين كمصدر لهيدروجينها،
 ولا يزال هذا الصنف من اللاهوائيات موجوداً حتى اليوم بصفة بكتيرية
 الكبريت الأرجوانية المسماة بالكروماتيوم (chromatium) وبكتيرية الكبريت
 الخضراء المسماة بالكلوروبيوم (chlorobium) ، وكلاهما يوجدان في البحيرات
 الضحلة وأخوار البحار الضحلة حيث يتوفر كبريتيد الهيدروجين بغزارة .
 وفي كل من هذين الصنفين من التمثيل الضوئي لا يحصل الاوكسجين كمنتج
 جانبي .

وبما ان هذه الاشكال البكتيرية للحياة المستثملة للضوء كانت هي
 المتعضيات السائدة على الارض طوال مئات عديدة من ملايين السنين ، وحتى
 بقيت عملية تثبيت ثاني اوكسيد الكربون جارية لفترة طويلة من الزمن قبل
 ان تنشأ متعضيات في المستوى حيث تملك القدرة على القيام بعملية التمثيل
 الضوئي المحررة للاوكسجين . غير انه في الاخير، وبسبب نضوب مورد
 المصادر الاخرى للهيدروجين ، أو ربما مجرداً بسبب محض الغزارة،
 تطورت متعضية يوكيميائية حتى أصبحت قادرة على استخراج الهيدروجين
 من اغزر مصادره على الارض ، الا وهو الماء . لكنها هنا تطلبت عشرة اضعاف
 الطاقة لاستخراج الهيدروجين من الماء مما تطلبته لاستخراجه من كبريتيد
 الهيدروجين ، انما مورد الماء كان لا ينضب . والمتعضية التي طورت تجزئة
 الماء بالتحفيز الضوئي أصبحت السيانوبكتيريا ومعها بدأ تاريخ انتاج
 الاوكسجين قبل ثلاثة آلاف مليون سنة خلت .

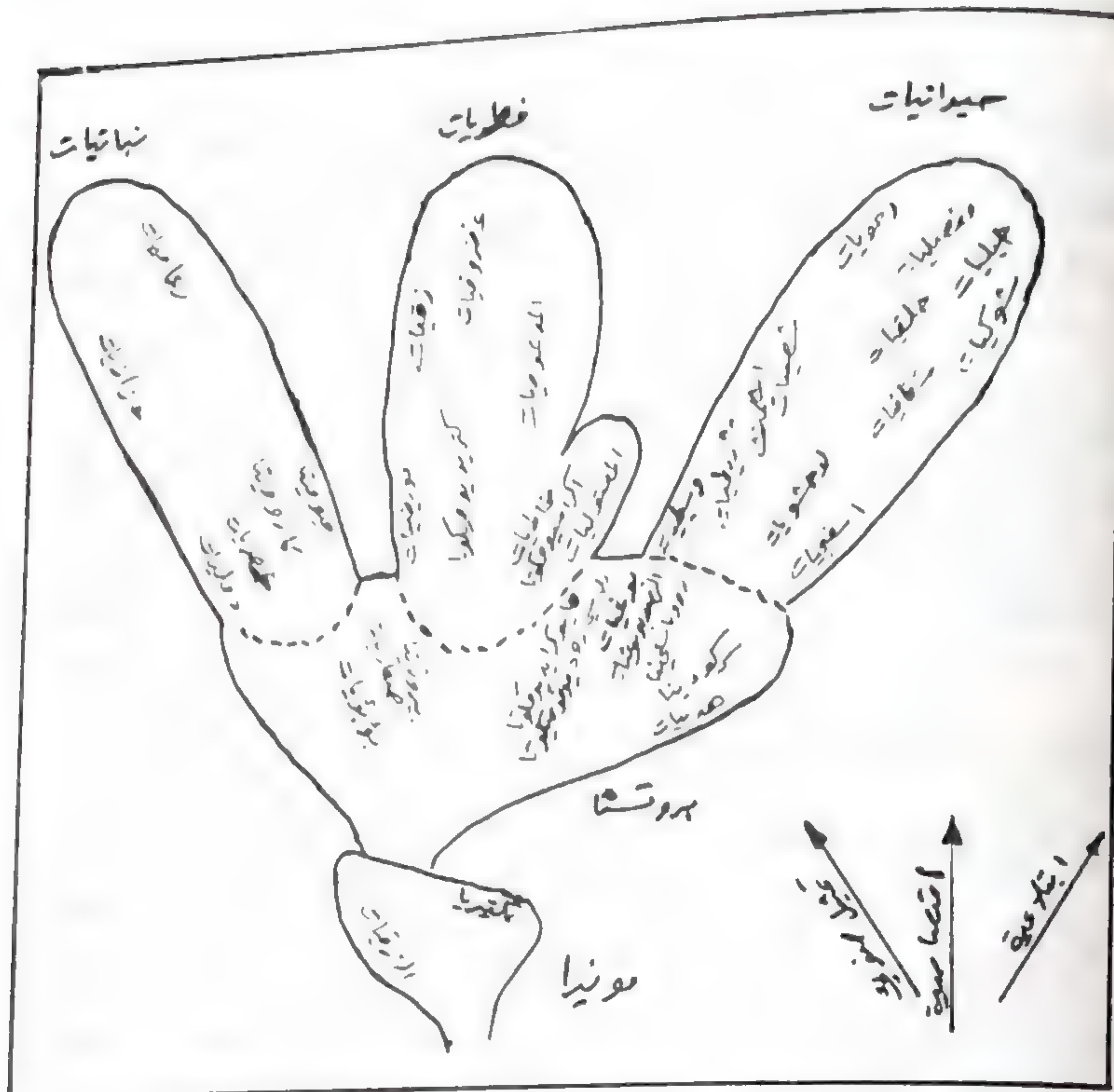


لم يتم التثبيت بالضبط في أي زمن ظهرت الطحالب الخضراء زرقاوية الى
 الوجود، لكن الدراسات بالنظير الكربوني التي أجرتها اوهرل^(١) تشير الى
 تثبيت أو اختزال ثاني اوكسيد الكربون كان متعاصراً مع أقدم الاحافير
 المجهرية فيما قبل ثلاثة آلاف واربعمئة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، وربما
 استغرقت هذه العملية ملايين السنين في النشوء ولكنها مع ذلك كانت
 متوافقة مع أقدم الاحافير . وعلى ما يظهر ان الستروماتوليت البوللوياينة
 من زيمبابوي نشأت عن النشاط السيانوبكتيري، ولما كانت هذه مؤرخة فيما
 قبل اثنين وستمئة مليون سنة ، فان فترة قدرها ثمانمئة مليون سنة ، وهي
 اطول من فترة نشوء الانسان من مستوى الاوالي أو الاحادية الخلية
 (protozoan) ، تكون قد انقضت من اول ظهور الحياة الى الزمن حين كانت
 الطحالب الخضراء زرقاوية تنمو بغزارة في المياه الدافئة في بحار الدهر
 الاركي .

ليس ثمة شك مطلق في ان السيانوبكتيريا كانت بين اعتق اشكال الحياة
 التي ظهرت على الارض، ومن بين اكثرها نجاحاً . وهذه المتعضيات المجهرية
 البسيطة لا تزال باقية حتى اليوم وتتواجد بغزارة في تجمعات المياه العذبة
 الضحلة كالبرك والخفر والبحيرات الضحلة ، وذلك اثناء ومباشرة اعتق
 فترات درجات حرارة الهواء العالية . وهي لحد ما موجودة في كل مكان، من
 المناطق القطبية ، وفي جميع انحاء المناطق المعتدلة ، وهي في مياه المدارين
 (tropics) الدافئة . كما انها، باستثناء بعض البكتيريا ، تنمو ايضا حيث تعجز
 عنه المتعضيات الاخرى، وذلك في مياه الينابيع الحارة التي لا تقل درجة
 حرارتها عن ثمانين (٨٠) درجة مئوية^(٢) كالتى في نيوزيلندة وفي يلوستون
 بكاليفورنيا .



تتبع البكتيريا والسيانوبكتيريا الى مرتبة خاصة من الحياة تسمى بالمونيرا (monera: النويات) ، بينما تتبع جميع الكائنات الحية الأخرى الى صنف المتعضيات المجهرية الأحادية الخلية اليوكاريتية او الى اشكال الحياة المتعددة الخلايا اليوكاريتية . اذ، خلاف التصنيف التقليدي الثنائي للحياة الى مملكة حيوانية وأخرى نباتية ، يستحسن تبويب العلاقات النشئية في تصنيف خماسي الممالك، والبروكاريوت تقع بين افراد مرتبة المونيرا وتتميز بيساطة بنيتها الخلوية ، بينما جميع اشكال الحياة الأخرى هي اما خلايا مفردة يوكاريتية او متعددة الخلايا يوكاريتية تكون النواة او الميتوكوندريون (mitochondrion) والمكونات الأخرى للخلية فيها مغلفة في غشاء. أما في البروكاريوت فالشيء الوحيد المغلف بالغشاء هو الخلية نفسها.



الشكل ١/٤ - التصنيف الحياتي الخماسي الممالك مبني على ثلاثة مستويات من التطور هي: ١- البروكاريوت (مونيرا) ٢٠ - الاحادي الخلية اليوكاريتي (بروتستا) و ٣- المتعدد الخلايا اليوكاريتي . وكل مستوى يتشعب الى مقترفات بالنسبة الى طريقة الاغذاء، فالمونيرا تستخدم التمثيل الضوئي والامتصاص ، والمستويان الاعليان ينقسمان الى تمثيل ضوئي وامتصاصي وابتلاعي.

ان خلايا السيانوبكتيريا متقدمة في وعاء غروي خارجي تليه طبقة نشوية وسيطة ثم جدار باطني من الخليولوز او السيلولوز (cellulose). وعلى جدران خلايا الطحالب الاخرى، ان جدران خلايا الطحالب الخضزررقاوية تضمن حوامض امينية مثلما هي الحال في الجدران البكتيرية، لقد ظهرت الطحالب الخضزررقاوية في زمن مبكر كرزمة متينة ومقتدرة من التمثيل الضوئي، وباستخراج ثاني اوكسيد الكربون واستخدام الماء كمورد للهيدروجين تقوم بتحويله الى نشاء سيانوفيشي (cyano-phycean) - نشاء حشائشي بحري مختضب بالزرقاء. ومن جهة اخرى كانت هذه الطحالب ولا تزال ابسط النباتات المنتجة للغذاء.

اختم الدهر الاركي قبل الفين وخسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة بتصاعد الجبال الذروي، واصبح معه الدرع الكندي (Canadian shield) اقليم كينوران الذي جاء كاضافة متممة لهوامش القارة النامية ممتدة من اقليم سلاف في الشمال الغربي من لابرادور شرقا عبر غرينلندة لتنتهي في الاجراف القارية للاطلنطي ما بين غرينلندة وسكوتلندة. كما حصلت تطورات مماثلة في غرب استراليا، وجنوب الهند، واواسط وجنوب افريقيا، والاحسواض الرسوية الآخذة بالتكون آنذاك كانت من اصل الاغوار الكراتونية (cratonal) وذلك على تقيض الرواسب البركانية التي تكونت في أزمنة سابقة لهذا.

لقد بدأت الحياة على الارض في بيئة عديمة الاوكسجين. كان الجو يتضمن قدرا ضيلا من الهيدروجين، وكانت الصخور وأغلب الفلزات المحلولة في البحار في حالتها المنقوصة وتكافؤها الادنى، وهذا الوضع ملحوظ على الاخص بالنسبة الى الحديد والكبريت. ان املاح الحديد الثنائي التكافؤ قابلة للذوبان نسبيا، لكن الحديد المؤكسد مقاوم للذوبان. وكنتيجة لهذا ان تركيز الحديد المذاب في البحار اليوم منخفض للغاية (ويبلغ

اقل من 10^{-10} مولار molar وهي وحدة جزيئية غرامية، و molar هي صيغة النسبة من مول mole وهي كتلة تتضمن كمية من المادة الكيميائية لها وزن بالفرام يساوي عدديا وزنها الجزيئي، والمولة (تعريفا) الواحدة من المادة تحتوي على 6.022×10^{23} جزيئة)، انما الوضع في الدهر الاركي كان على نقيض هذا. اما الكبريت، وهو سريع التأكسد، فيتواجد بوجه رئيسي ككبريتات او سلفات (sulfide) من كبريتيد الهيدروجين المذاب الناشئ من اصل بركاني.

تألفت الحياة البدائية التي نشأت في ظل هذه الظروف من متعضيات مجهرية لا هوائية تؤايض كربوهيدراتها بالتحليل التخيري وتستخرج الطاقة المخزونة في الروابط الكيميائية عند اختزال ثاني اوكسيد الكربون الى سكاكر بفعل التمثيل الضوئي بنفس الطريقة التي تحصل في الخميرة (yeast) اليوم. وكانت هذه الطريقة بالنسبة الى شكل الحياة البسيط القائم في ظل الظروف البيئية السائدة آنذاك طريقة بيوكيميائية تامة ووافية بالفرض.

لكن تحرير الاوكسجين من قبل السيانوبكتيريا في تحفيزها الضوئي (photo catalysis) للماء جاء بتلويث خطر على جميع اشكال الحياة. فالأوكسجين الطليق عامل شديد التفاعل يؤكسد بسرعة المواد المختزلة، فلزبة كانت أم بيولوجية. وعليه، لتفادي هلاكها بفعل فضلاتها الذاتية اضطرت الطحالب الخضزررقاوية الى معادلة أو محايدة الاوكسجين أو ازالته من بيئتها مباشرة فور تولده. وفي البحار الاركية كان الحديد الثنائي التكافؤ النوع الكيميائي الاكثر توفرا وتفاعلا الصالح لهذه الوظيفة، وفيه تفاعلت املاح الحديد الثنائي التكافؤ مع الاوكسجين اخذ اوكسيد الحديد الثنائي التكافؤ المقاوم للذوبان يترسب، وعلى مر الزمن كانت نشأة الاوكسجين قد جاءت لتغير خواص البحار. وبحلول أواخر الدهر الاركي كانت الطحالب الخضزررقاوية



الشكل ٢/٤ - السيانوبكتيريا (غليوكابسا Gloeocapsa) مكبرة (٤٠٥٠٠) ألفا وخمسمائة مرة بالمجهر الإلكتروني ، والصورة تبين مقطعاً طويلاً لخلية في حالة الانقسام . والمنطقة الباهتة الوسطية تتضمن الحامض الخلوي الصبغي (دنا DNA) ، والخطوط المتراكزة المحزرة هي رهائف شرجية تتم فيها عملية التمثيل الضوئي.



واسعة الانتشار ومزدهرة ، ومع انقضاء خمسمائة (٥٠٠) مليون سنة أخرى على ذلك ، كانت تولد كمية من الاوكسجين كبيرة بما جعل الحديد الثنائي التكافؤ ينضب من البحار ، وأصبحت قرارات هائلة من حجر الصوان الحديدي الطبقات المترسب من السليكا المترسبة ، أصبحت الخامات الحديدية الواقعة الآن في أمريكا الشمالية حول البحيرات العظمى وفي لا برادور ، واقليم هلمزلي بنغرب أستراليا ، وفي موريتانيا بشمال غرب إفريقيا.

كانت درجة الحرارة المناخية تنخفض ببطء الى ما دون سبعين (°٧٠) درجة مئوية في أواسط الدهر الاركي قبل ثلاثة آلاف مليون سنة . وبين ما قبل الفين ومائتي (٢٢٠٠) مليون سنة والتي (٢٠٠٠) مليون سنة دخلت الارض في احدى دوراتها البرودية وحصل أول عصر جليدي معروف . ومن ذلك الزمن فصاعداً أصبحت هذه الواقعة خاصة متكررة في تاريخ الارض .



حصل آخر استقرار عظيم للتشكيلات الحديدية الطبقات في الفترة بين ما قبل النبي (٢٠٠٠) مليون سنة والف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت. وفي أعقاب ذلك، بعدما كان الكثير أو معظم الحديد قد تأكسد، بدأ الاوكسجين يتسرب الى الجو. وتوجد بعض قرارات حجر الحديد من هذا الزمن تتضمن الاووليت (oolites = حجر كلسي بطرخي) وبنى أخرى تدل على تجمعات مائية ضحلة وتبين بأنها كانت من بين أقدم الخطوط الساحلية في ماضي الأرض. ويمكن اليوم مشاهدة بقايا هذه في لابرادور وفي كاريبيا على مقربة من الحدود بين فنلندا والاتحاد السوفيتي.

بهذا الوقت كانت انواع وأشكال الحياة المجهرية قد ازدادت تنوعا الى حد كبير، وهذا هو زمن تشكيلة الصوان الوري (Gunflint Formation) التي تركت كمية كبرى من الاحافير المجهرية البكتيرية والاشباه طحلبية. مع ذلك، كانت الحياة لا تزال على مستواها الميكروبي (microbial) ومقتصرة على البحار، وكان البر اليابس لا يزال عقيما مقفرا لا يضم حتى ابسط اشكال النبات.

ومن جهة أخرى كانت البحار تضج بالحياة. فالجهاز البيولوجي الكفء لدى الطحالب الخضزرقاوية للاستمرار من المخزونات الالامحدودة من ثاني اوكسيد الكربون والماء وضوء الشمس لتشييد وبناء مكوناتها العضوية مكنها من التوسع والانتشار في بقع يئنة ملائمة ومحمية من البحار. وبحلول اواسط الدهر البروتيروزوي كانت هذه شكل الحياة السائد لدرجة يمكن معها تسمية هذا الزمن بالعصر السيانوفيشي. ورغم ان الطحالب الخضزرقاوية بذاتها مجهرية الحجم، فانها كانت تترك في المياه الضحلة مخلفات عظيمة تشهد على تواجدها.

وبما ان المنظومات البيولوجية الاولى كانت تعيش في زمن كان جوه



معدوما من الاوكسجين فانها كانت محرومة من طبقة الاوزون لدرء الاشعة ما فوق البنفسجية القتالة عنها. وكل متعضية نجت وبقيت في الحياة في مثل هذه الظروف تمكنت من ذلك بفضل احتمائها في امساكن مستورة أو في اعماق بعيدة لم يصل اليها هذا الاشعاع، ولهذا السبب قد نشأت السيانوبكتيريا من اسلاف متكيفة للغاية للحياة في الضوء الضعيف. وفي الاخير استتبعت هذه العوائل العشبية البحرية (phytoplankton) اغمدة جلانية سميكة ملونة أو شفافة لتقيها شدة الضوء الباهر. عاش العديد منها في مستوطنات أو كتل لا شكلية أو طبقات مخاطية نشأت بفعل ذوبان وتلاحم الاغمدة الفردية. وبما انها كانت تتأثر بالضوء فقد كانت تنقل تحت ستار أية رواسب تحجب عنها الضوء كلياً، وفيما فعلت ذلك تلاحق مخاطها واحتجزت الجسيمات في اماكنها. كان العديد منها يملك اغمدة مخاطية لزجة شكلت شبكات متخلخلة من الشعيرات تساقطت الرواسب من خلالها وخلقت أشكالاً عمودية. لذلك، بالرغم من كون هذه الطحالب الخضزرقاوية مادة خلوية فانية، فانها قد تركت آثاراً دائمية في الستروماتوليت الواسعة الانتشار في الدهر الاركي.

بدأت اقدم قرارات كبريتات الكليسيوم تتكون قبل حوالي الف وخمسمائة (١٥٠٠) مليون سنة خلت وبالرغم من ان ايونات الكبريتات كانت قد تواجدت في حالة المحلول ربما لزمان قبل هذا التاريخ، فان هذا يدل على توفر ما يكفي من الاوكسجين الطليق الآن لاكسدة حوامض الكبريت في البحار. وبانقضاء نحو ثلاث ارباع الزمن الجيولوجي لابد ان البحار كانت في هذا الاوان قد بلغت احجامها التي هي عليها اليوم، وكانت تتخذ خصائصها المعصرية.

نظراً لأن جميع الاحياء المجهرية التي قطنت البحار نشأت وتطورت في



باستور (Pasteur Point) ، ولربما ان مستوى الاوكسجين كان قد بلغ ارتفاعا خطرا على اللاهوائيات في الجو السائد قبل ألف واربعمائة (١٤٠٠) مليون سنة خلت، عندما افضى تغير البيئة الى ظهور اليوكاريوت.

بيئة خالية من الاوكسجين ، فانها كانت لا هوائية ، أي انها لم تستخدم التنفس التاكسدي . فهي لم تحتج الى الاوكسجين ولم ترغب فيه، وقد كان بالنسبة اليها بمثابة السم القاتل . لكن مع استقرار آخر الحديد الثنائي التكافؤ في تشكيلات من الطبقات الحديدية بدأ الاوكسجين الطليق ، اعتبارا من حوالي ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة فصاعدا ، يتسرب الى الجو من تفاعل التمثيل الضوئي للطحالب الخضزرقاوية . استغرق الاوكسجين الناتج عن التمثيل الضوئي أكثر من الف مليون سنة ليؤكسد جميع المواد الموجودة في نطاقات جو الارض البحري والعلوي، لكن العملية استمرت باطراد . وأخيرا شكل هذا التغير في بيئة الارض من احوال انتقاصية الى تأكسدية خطرا داهما على قاطنيها الذين ظلوا سادة الارض غير المنازعين لفترة تنمز الالفي مليون سنة.

والعديد من الاحياء التي عاشت واجهت هذا الخطر بتنمية خمائر او انزيمات (Enzymes) كوسائط توفيقية للاوكسجين تسمى بالاوكسيداز (oxidases) لوقاية مكوناتها البيولوجية من التلف بفعل الاوكسجين ، وربما ان بعضها نجا بالتراجع واللجوء الى بقع خالية من الاوكسجين ، وتتواجد هذه اليوم بمثابة بكتيريا لا هوائية ، لكن عصر البروكاريوت كان يشارف على الاختتام ، ووافاها مصيرها المحتوم بفعل تزايد اكسجة الماء والهواء باطراد.

لقد كان لويس باستور (Louis Pasteur) الذي اكتشف ان اللاهوائيات المقتصرة تعجز عن تحمل تركيزات اوكسجينية فوق نسبة واحد بالمائة (١٪) من المستوى الجوي الحالي. وبعد اكسدة املاح وفلزات البحار وغازات الجو المنقوصة بدأت تركيزات الاوكسجين الطليق في الهواء تتجه نحو نقطة

الفصل الخامس - ظهور اليوكاريوت

لا يمكن أن يعيش في الحرارة العالية السائدة في الدهر الأركي غير أبسط أنواع الخلايا ، لكن هذا المناخ كان يبرد بالتدريج وفي ما قبل الف وثمانمائة (١٣٠٠) مليون سنة خلت كانت هذه الحرارة قد انخفضت من حوالي سبعين درجة (٧٠°) مئوية الى اثنتين وخمسين درجة (٥٢°) مئوية ، وهي درجة الحرارة الواقعة مباشرة دون نقطة التغير التلقائي لطبيعة البروتينات المشبكة^(١) (complex proteins) ونشأت الخلية اليوكاريوتية (Eucaryotic cell) عندما كانت درجة الحرارة الكلية قد هبطت الى مستوى يتناسب مع بنيتها الجزيئية والخلوية ، كما كانت اليوكاريوت (Eucaryote) أيضا افضل استعدادا وتهيئة للتعايش مع تواجد الاوكسجين المطلق مما كانت المتعضيات اللاهوائية.

ومنذ ظهورها بين ما قبل الف واربعمائة (١٤٠٠) مليون سنة والف ومائتي (١٢٠٠) مليون سنة خلت فصاعدا أخذت اليوكاريوت تعمل على رفع مقدرة تنظيمها الخلوي الجديد الثوروي، لكن طالما بقي الاوكسجين الجوي بنسبة اقل من واحد بالمائة (١٪) من مستواه اليوم، لم يكن مسكنا غير التآيض التخمرى للكربوهيدرات فقط، واقتصرت على البقاء في المستوى المجهرى للخميرة (yeast) .

انما بعد انقضاء خمسمائة (٥٠٠) مليون على ذلك الزمن كانت بيئة الارض قد تعرضت لتحول ملحوظ وكانت اليوكاريوت تعكس هذا التغير فيما استمرت بنيتها الخلوية المشبكة (complex cellular structure) تتطور الى تركيبة (composition) أكثر كفاءة ، وبحلول زمن ما قبل سبعمائة وخمسين

(٧٥٠) مليون سنة خلت كانت قد بلغت مستوى التعقيد الموجود في القرنيات
(Chitirozoans) •

كان المناخ مسترا في البرود وكانت البحار اشبه الى حد كبير بما هي عليه اليوم. لكن اشكال الحياة الموجودة كانت لا تزال كلها مقصورة على البحار، بينما بقيت القارات جدياء مقفرة رغم انها كانت الآن تشغل ما يقرب من ثلاثين بالمائة (٣٠٪) من مساحة الارض وتتخللها الانهار والبحيرات اما بدون أية نباتات أو حيوانات. كما كانت فترة اليوم الكامل قد امتدت الى عشرين (٢٠) ساعة مع اربعمائة واثنين واربعين (٤٤٢) يوما في السنة الواحدة (٢) ولم يعد القمر الآن تلك الكرة الرهيبية المتسلطة على سماء الليل، فانه كان طوال المصور يتراجع عن الارض الى أن في حوالي نهاية الدهر ما قبل الكبير كان قد امسى يبدو بحجم لا يتجاوز ضعف حجمه الحالي.

في حوالي هذا الزمن بدأت بعض الخلايا اليوكاريوتية تنبذ طرقها الوحداية وأخذت تتجمع في مستوطنات بمثابة مجموعة سائبة العلاقات. وخلال فترة قصيرة نسبيا اتخذت المستوطنة صفة خاصة بها فيما أصبحت الخلايا الفردية أكثر اعتمادا على كونها جزءا من المجموعة. كانت الخلايا تتفاعل مع بعضها بافراز كيمائيات وايونات لها اثرها في التكوين البيوكيميائي المتحكم في التاسل والمنتجات لبعضها البعض. وبهذه الطريقة أصبحت الخلايا ضمن المستوطنة متخصصة ومختلفة الواحدة عن الاخرى في المجموعة، والمستوطنات التي أحرزت افضل النجاح بهذا التعايش الجماعي في تجميع المواد الغذائية والدفاع ضد الهجمات الخارجية تطورت وخلفت النزعة الوراثية للتباين اللازمة للتنظيم الاستيطاني.

ليس هذا الوصف للاوضاع تعديسيا مجردا، فانه توجد اليوم منظومات

حية لا تزال في هذا الطور المتوسط من التنظيم حيث تصبح الخلايا مستوطنات متحدة ومتخصصة، ولكن ليس الى الدرجة التي يمكن معها تصنيفها كمتعضيات متعددة الخلايا. كما يوجد بين الطحالب الخضراء شكل احادي الخلية يشتمل على جبيلة يعضورية (chloroplast) وبقرة عينية (eyespot) وسوطين اثنين (flagella) أو تتوئين خويطين يستخدمان للتنقل وتحريك تيارات الماء. ضمن هذه الفصيلة (family) تقع الباندورينا (pandorina) التي يقوم بعضها بتشكيل مستوطنات تتألف من اربع الى اثنين وثلاثين (٣٢-٤) خلية. وهذه المستوطنات ليست مجرد تكرسات، لأن الخلايا تسبح بحركات متناسقة من اسواطها. والغونيوم (Gonium) فصيلة أخرى من هذه المجموعة التي تشكل مستوطنات.

وتتميز الفولفوكس (volvox) بتشكيل المستوطنات الأكثر رقيا، اذ يقوم هذا الجنس (genus) من السوطيات (flagellates) الخضراء الباهة بتشكيل مستوطنة من بين خمسمائة الى خمسين ألف (٥٠٠-٥٠٠٠٠) خلية مرتبة في قبة أو كرة جوفاء يبلغ طول قطرها حوالي خمس البوصة (١/٥ انج) وبينما تبدو خلايا الباندورينا والغونيوم متشابهة تصبح خلايا الفولفوكس متخصصة، فالخلايا في مقدمة الكرة تملك تقرا عينية اكبر، وبعض الخلايا فقط تنسخ نفسها، وترتبط خلايا المستوطنة ببعضها البعض بأوهان وشعيرات رفيعة من الجبلة الاولى او البروتوبلازما (protoplasmic strands). أما تناسخ أو تكاثر المستوطنة فيتم عندما تقوم الخلايا في الخلف بالانقسام منتجة كرة صغيرة جديدة من الخلايا تطلق في باطن المستوطنة الأم، وعندما تموت المستوطنة المسنة تنفرج المستوطنات الشابة الى الخارج لتتشر وتكرر الدورة (٣).

من تشكيل المستوطنات كانت اليوكاريوت تعبر العتبة لتصبح التوالي

(Mammals) أو حيوانات متعددة الخلايا . ومثلما توجد أخلاف من أغلب مراحل النمو التطوري، توجد أنواع (species) حية من هذه قاومت التغير وبقيت في البقع البيئية الملائمة لها والتي كانت سائدة في زمن انتشار ذلك المستوى من التطور ، والأسفنج حيوان يقع في الحد الفاصل بين التطور الأولي الخلية والمتمدن الخلايا.

يتكون سطح الإسفنج من الأكتوسومات (Ectosome) أو الحليسات الجلدية) وهو طبقة أو طبقات من الخلايا تتخلله مسامات دقيقة. والبدن محظوظ بقنوات عديدة تمر إلى ومن الحجرات السوطية كأقسام الخياطة الصغيرة مبطة بخلايا تحمل أطواقا قمعية الشكل. تتناول الإسفنجية القوت والأكسجين بسحب الماء من خلال المسامات والقنوات إلى الحجرات السوطية فوات الخلايا الطوقية وتفرغه ثانية من خلال منافذ بينما تذرق الفضلات الناتجة من الهضم والتنفس بواسطة تيار الزفير.

يوجد على الساحل الشرقي لأمريكا الشمالية من توبا سكوشيا إلى كارولينا الجنوبية إسفنج صغير وجد ينمو اعتياديا على محاررات من نوع مايكرشيوتا برولينرا (microciona prolifera) . يبدأ هذا الإسفنج الحياة كنشرة رقيقة ، ولكنه فيما يتقدم في العمر يرسل فصوصا رأسية كالأصابع لها فتحات كبيرة نوعا ما كمنافذ في منتهياتها، وتزايد هذه التوابع في العدد كلما تقدم الإسفنج في العمر إلى أن تشكل ما يشبه بعليقة ذات فروع متضاربة، وبعض الأنواع تنمو إلى ارتفاع ثنائي بوصات (8 إنج)، ويتغير لون هذا الإسفنج موسيا ، انسا في الصيف والخريف يبقى أحمر بلون العذبة.

في عام ١٩٠٧ قام إيج في ويلسون (H.V. Wilson) (١) وهو خير

بيولوجي من جامعة كارولينا الشمالية في تشابل هيل بتقضية صيفه في مختبر مكتب مصائد الأسماك للولايات المتحدة الكائن في مرفأ بوفورت يجري البحوث على هوائيه الشخصية وهي انحطاط وتجدد الانسجة الحية (tissue) وبما أنه كان على البحوث بقدرات التجدد المعجبة لدى الميكروشيوتا برولينرا، فإنه اعتزم على إجراء التجارب على هذه الإسفنجية الحمراء الصغيرة. قطع الإسفنجية إلى قطع صغيرة بقص ورشح الانسجة من خلال قماش تخيل دقيق . ثم جعل هذا القماش كالكيس يضم قطع النسيج تلك وغسه في وعاء من ماء البحر المرشح وعصره بجفت. انتضحت سحب حمراء من القماش إلى الماء وبسرعة استقرت في القاء كرواسب دقيقة . وبعد تقطيع الإسفنجية وترشيح الخلايا التكوينية لها في وعاء من الماء، أخذ ويلسون يدرس بامعان سلوك الراسب.

وأثناء ما كان يراقب بدأت الخلايا تلتحم ببعضها ، وبعد فترة قصيرة كانت قد تشكلت في عدة قضاصات أو كريات صغيرة ، ثم امتدت تنوءات من الجيلة الأولية (protoplasm) أو الأقدام الكاذبة (pseudopodia) إلى سطح الوعاء وعندما تلامست هذه مع مجموعات أخرى من الخلايا التامت القضاصات معا لتشكل واحدة ، وفي الأخير التحمت جميع الكريات الخلوية في قشرة واحدة مفردة ، وبدأ تمايز الخلايا . وفيما تعاقبت الأيام ، ظهرت حجرات سوطية بأعداد كبيرة موصولة بقنوات تشكلت في البنية، والآن بدأت انبوبات مغذية قصيرة تنمو رأسيا من القشرة، وبعد ستة أو سبعة أيام كانت الإسفنجية الصغيرة الحمراء قد جددت نفسها.

يأتي الإسفنج في أدنى مستويات التطور للحيوانات المتعددة الخلايا . لكن التجربة كانت رائعة في التدليل على أن التوالي تشأ من خلايا حية فردية تتجمع بالتناسق بطريقة معينة لتخلق رتبة أعلى من الحياة . كما أيدت هذه

التجربة ايضا النظرية القائلة بأن الخلية الفردية هي الوحدة الاولى ذات الوظيفة التطورية.

بعد ذلك قام ويلسون باجراء التجارب على عينات من اللاحشويات (coelenterates) وهي الشعبة المعروفة على نطاق واسع بالسماك الهلامي، وهي المرحلة الانتقالية التي أدت الى جميع شعب الحيوانات الاعلى. وبما ان بنية اللاحشويات تتألف من طبقتين من النسيج خارجية (Exoderm) وباطنية (Endoderm)، فانها أكثر تطورا من بنية الاسفنج. مع ذلك، عند تقطيع متعددات الارجل (polyps) الخاصة بالهداريات (hydroids) الى شظايا وعصرها في قماش دقيق، أخذت هذه الخلايا المقطعة تتجمع ايضا وتعيد ترتيب ذاتها انتقائيا لتعيد تشكيل الحيوان الاصلي.

لم تسفر تجربة ويلسون الخلافة عن شيء يذكر طوال الثلاثين عاما التالية. وفي عام ١٩٣٩ قام يوهانيس هولتفريتر^(٥) (Johannes Holtfreter) الخبير البيولوجي من معهد قيصر ويليام في برلين، بتقطيع خلايا جنين ضفدعة في محلول خال من ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم. وعندما ترك الخلايا العالقة في المحلول لتسكن بلا حراك، بدأت الخلايا تنسق نفسها وفي الاخير اعادة تكوين الجنين الاصلي (embryo). وفي عام ١٩٥٢ قام أي وأيج موسكونا^(٦) (A. and H. Moscona) باجراء هذه التجربة على أجنة طيور، وتبعهما باحثون آخرون عملوا بنجاح على انسجة عينية من الثدييات. انما لاسباب سيأتي شرحها لاحقا، لا تنجح هذه التجربة الا على أجنة في مراحلها الاولى فقط.

ينمو جسم الانسان، وكذلك جسم أي فرد آخر من التوالي، من خلية واحدة، وهي خلية يجري نسخها تكرارا، أولا لتشكيل الانسجة بعمل طبقات

من نمط معين، ثم تنمو هذه الانسجة الى أعضاء (organs). وبهذه الطريقة يقوم الجنين باعادة تمثيل المراحل النشوية للتطور التي حصلت قبل مئات الملايين من السنين. وفي النهاية ييتي الحيوان التام البنية بكل صفاته الفردية من ملايين الملايين من الخلايا تعمل معا كوحدة واحدة. وقد قدر أن عدد الخلايا في جسم الانسان البالغ يقع بحدود عشرة تريليونات (أي عشرة مليون مليون في الحساب الامريكي، أو واحد متبوعا باثني عشر صفرا، وهو خلاف التريليون الانكليزي المتألف من واحد متبوعا بثمانية عشر صفرا)، وجميع هذه تشق في النهاية من البويضة المخصبة الواحدة. ربما يبدو هذا الرقم كبيرا جدا، ولكنه ينشأ من فقط (٤١) جيلا من انقسام الخلية.

ان التباين أو التفاضل المتعدد الخلايا يعني زيادة كبرى في عدد الجينات (genes) لتفصح ليس فقط عن وظيفة خلية مفردة واحدة، وانما عن وظيفة المتعضية برمتها. وتنشأ وظائف الحيوانات الاعلى من تفاضل الخلايا، أي الخلايا المتخصصة لتوليد مختلف انواع الانسجة والاعضاء والعظام والشعر. ونظرا للطريقة التي نشأت بها التوالي من التكتل المنتظم لنسل خلية مفردة، فان كل خلية في الجسم تضم العدد التام من الجينات والصغوسومات (chromosomes) للحيوان الكامل بأجمعه. وهي تختلف من حيث انه لا تظهر الجينات كلها، انما يجري استخدام فقط تلك الخاصة باتاج البروتينات الملائمة لوظيفة الخلية المعينة، وتحجب جميع المواد الجينية الاخرى في الخلية المعنية من نسخ معلوماتها بواسطة بروتينات أساسية تسمى بالهستونات (histones) التي تمتزج بالجينة (gene) وتمنع استنساخها. وهكذا تمكنت الخلايا اليوكاريوتية من انجاز وتنسيق الوظائف المختلفة من نفس الخلية اساسا واستطاعت التقدم من المرحلة الاحادية الخلية الى أشكال من الحياة أكثر تعقيدا.

استغرق التقدم من مستوى النسيج في تطور اللاحشويات الى حيوانات ذوات اعضاء فترة من الزمن قدرها حوالي مائة وخمسين (١٥٠) مليوناً من السنين ، لكن عندما تحقق الاقترام كانت النتيجة تفجيرية . كان الصنف الجديد من نظام النسيج للتفاعل مع البيئة أكثر مرونة من اسلافه الخاملة نسبياً ، وانتشر هذا الصنف من الحياة بسرعة في جميع انحاء العالم وساده . كانت هذه الحيوانات من المفصليات (arthropods) والرخويات (mollusks) وغيرها ، وقد طورت هياكل أو قشور خارجية (exoskeletons) من مواد قرنية ، او اقباض متغلزة (mineralised shells) لوقاية أعضائها وأنسجتها الطرية ، ولكنها بقيت في اعماقها البحرية الواقية ، وكانت اليابسة لا تزال مقحلة .

وفيما كانت اليوكاريوت تواصل تقدمها بدأت احدى أعظم السلاسل الجبلية في تاريخ الارض ، وهي سلسلة جبال الابالاجيان الكالدونيان (Appalachian-Caledonian) بالتكون . وبين ما قبل الف ومائة (١١٠٠) مليون سنة وسبعمائة وخمسين (٧٥٠) مليون سنة كانت فترات طويلة من الترسب قد رسخت الارض على هوامش امريكا الشمالية واوروبا ، لكن البحر العظيم العتيق الذي فصل الكتلتين اليابستين انكمش تحت تأثير قوى شديدة في باطن الارض التي دفعت القارتين نحو بعضهما ، وعندما اصطدمتا في النهاية تعوجت الارض الرسوية المحصورة بينهما وتفتت وتطورت مندفعة الى أعلى في قمم شاهقة . وبفعل الحرارة والضغط تحول الحجر الجيري الى رخام ، والسجيل الى الواح اردوازية وشستية ، والاحجار الرملية الى كوارتزيت ، وكونت التداخلات الصهارية كتلا من الفرانيت . وبينما تحاتت جبال خمس أو ست احقاب اعق من جبال الابالاجيان الكالدونيان وامحت من الوجود ، بقيت سلسلة جبال الابالاجيان في شرق امريكا الشمالية وسلسلة جبال الكالدونيان في سكوتلندة ، بالرغم من تحاتها وتآكلها بفعل الماء المتواصل ،

قائمة اليوم بين أقدم الجبال على الارض .

انتهى الردهج الاخير من الدهر البرونيوزوي ، الذي بدأ دافئاً ورطباً . بارداً وجافاً فيما امتد التجلد أو التلج (glaciation) فوق شرق كندا ودخلت الارض في عصر جليدي آخر . انما مع بداية الحقبة الكمبرية اخذ المناخ يعتدل ويلطف . كانت درجة الحرارة الآن تقع في حوالي اربعا وثلاثين درجة (٣٤°) مئوية ، وربما كان الاوكسجين الجوي قد ارتفعت كميته عدة نسب مئوية فوق نقطة باستور ، وبدأت احياء من الثلاثيات الفصوص الشبيهة بالسرطان ، الحدوي ، والمضديات الارجل الامفصلية (inarticulate brachiopods) والرخويات البدائية (primitive mollusks) ، والشوكيات الجلد (echinoderms) اسلاف السمك النجمي (starfish) ، والحلقيات (annelids) من قبيل الديدان الشدفية (segmented worms) ، والمفصليات (arthropods) كالحرائش (am) ، بدأت تزحف في قيعان البحار .

تلت الحقبة الكمبرية ، التي دامت فيما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة الى ما قبل خمسمائة (٥٠٠) مليون سنة ، الحقب الاردوفيشية (ordovician) وصحبها اتساع تشعبي كبير في اللافقرات الى أنواع وأجناس وفصائل جديدة ومختلفة . كان هذا عصر الحيوانات البحرية ذوات الهياكل والاقباض أو القشور المتغلزة ، والمرجان والسمك النجمي ، والنجوم الهشة (brittle stars) ، والزنبقيات (crinoids) ، التي استوطنت قيعان البحار الضحلة ، وظهرت الرأسية الارجل (cephalopods) ، كبعض القواقع والصدفيات المستقيمة والمنحنية والمتحوية ، الى الوجود ، ومن بينه ايضا النواتي (nautilus) الكثيرة الشبه بما هي عليه اليوم وهي ضوار رهيبة تجوب في أعماق البحار .



ومع حلول الحقبة الأوردوفيشية قبل خمسمائة مليون سنة خلت، ومع البحار الضحلة تغطي مناطق واسعة من العالم ، بدأت النباتات البسيطة تكيف نفسها للحياة على هوامش البر اليابس . كانت هذه حالة جديدة ارتفعت فيها الخلائق الى تنسية مداغم ببنوية تعينها على مقاومة الجاذبية وجهاز مسلكي أو وعائي (vascular system) لحمل سوائلها بالاتجاه العلوي الى أجزائها المكشوفة ، ثم في حوالي ما قبل أربعمائة وخمسين (٤٥٠) مليون سنة ظهر في المياه العذبة ما هو معروف اليوم باسم كولورادو (Colorado) . وهو حيوان ربما كان بالأصل سمك عديم الفك . لكن أحافيره نادرة ومتشظية لدرجة أن شكل الحيوان الحقيقي غير معروف . وأحافيره موجودة في الأحجار الرملية في هاردينغ (Harding) كالواح مفككة ومنكسرة من البنية العظيمة ولكنها تدل على التفصلة المفقودة ، وهي فصيلة الحبليات ذوات الفقرات ،

ولكنها تدل على التفصلة المفقودة ، وهي فصيلة الحبليات ذوات الفقرات ، (chordate with vertebra) ، أسلافنا القدماء . بما أن معظم السجلات أو الآثار الأحفورية مستمدة من أصل بحري، فإن قصة التطور في المياه العذبة والبر اليابس أكثر صعوبة للتجميع والترتيب . انما على ما يظهر حصل الاستيطان في القارات أثناء الحقبة السليورية (Silurian) فيما قبل أربعمائة وعشرين (٤٢٠) مليون سنة الى ثلاثمائة وخمسة وتسعين (٣٩٥) مليون سنة خلت، والحقبة الديفونية (Devonian) في ما قبل ثلاثمائة وخمسة وتسعين (٣٩٥) مليون سنة الى ما قبل ثلاثمائة وخمسة وأربعين (٣٤٥) مليون سنة خلت . ربما بدأ هذا الاستيطان بالنباتات البسيطة وتبعها الاحياء العنكبوتية (arachnids) ، والعقارب، والالفيات الارجل millipedes . كان شمال امريكا منخفضا ومسطحا في هذا الزمن ، وذلك باستثناء الجبال والبراكين في شرقي الولايات المتحدة وكندا ، وكانت اوربا جبلية وذات أحواض قاحلة . وقد كان في حوالي ما قبل ثلاثمائة وسبعين

(٣٧٠) مليون سنة خلت قد قام أحد البرمائيين من اسلاف جميع الفقريات البرية، بما فيها الانسان نفسه، بالزحف من موطنه في المياه العذبة الى حافة ضفة نهرية ووجد نفسه انه كان في غرينلندة ، أو على الاقل هناك وجدت بقاياه الأحفورية بعد ثلاثمائة وسبعين مليون سنة من انقراضه .

أدى استيطان النباتات في البر اليابس الى حلول الحقبة الكربونية (carboniferous) التي دامت من ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة الى مائتين وسبعين (٢٧٠) مليون سنة مضت . نمت أشجار ضخمة بعضها تسامق الى ارتفاع مائة (١٠٠) قدم في الغابات المستنقعية في جميع انحاء العديد من القارات ، كما ضمت هذه المستنقعات ايضا انساب نبات الامسوخ أو ذيل الفرس (horsetails) ، والطحالب الرصاص (club mosses) والأشجار الرخسية (tree ferns) الموجودة اليوم، وكذلك عاريات البذور الصنوبرية البدائية (primitive gymnosperms of conifers) . كانت الحشرات متنوعة ومختلفة وشملت التين المجنح العملاق (giant dragonfly) الذي يبلغ طول جناحيه ثنائي وعشرين (٢٨) بوصة، وحرائش (millipedes) بطول خمسة (٥) أقدام، والصراصير والعقارب الضخمة . أما الاحياء الثلاثيات الفصوص فكانت الآن تشارف نهاية تاريخها الطويل ، وبين الفقريات كانت ايضا الكواسج الضخمة . كما كانت البرمائية ايضا موجودة وهي اسلاف الفقريات الهوائية التنفس المنحدرة من الحقبة الديفونية ، وكذلك الجوفاء الجماجم (synapsids) ، وهذه هي أقدم الزواحف (reptiles) المعروفة .

في أثناء الحقبة البرمية (Permian) التي تلت، أي ما قبل مائتين وثمانين (٢٨٠) مليون سنة الى مائتين وخمسة وعشرين (٢٢٥) مليون سنة ، كانت الجوفاء الجماجم ضارية مفترسة في الاصل وأصبحت سائدة بكثرتها . ومن

السبب هذه التسمية هي التربة (Pangea) وهي حيوانات صلبة وهي
ولكنها من الصخور آكلة الصخور الشبيهة . وخلال الحقبة الترياسية
(Triassic) أي ما قبل مائتين وعشرين (220) مليون سنة إلى مائة وثمانين
(180) مليون سنة تمت هذه الفترة الصغيرة الاحجام غدا افرازة خاصة
تخفية مدورها بطيب وأصبحت بذلك الثدييات الاولى .

أما القارات ، التي كانت تسمى غلاف الأرض بيط ، كالكلاز أو صوافر
هائلة من القارات ، التي كانت قد انصهرت خلال المائة مليون سنة السابقة
لوحالية الصلابة واحدة عظمى تسمى باليانجيا (Pangea) ، لكن في أثناء
الحقبة الترياسية كانت الأجزاء التي أثبتت شرقي أمريكا الشمالية ونيوزيلندا
تتبع اتجاهات هائلة من الاضطرابات البركانية ، وازورت إفريقيا وأمريكا
الجنوبية كوحدة واحدة وانفصلت من أمريكا الشمالية مقسمة بانجيا بذلك إلى
أوراسيا (Eurasia) في الشمال وغربها الألات (Gondwana) في الجنوب .
ثم انشطت الهند وقارة القطب الجنوبي من إفريقيا .

وعند حلول الحقبة الترياسية التي تلت الحقبة الجوراسية (Jurassic) كانت الأشجار
العظيمة في السهول الصحبية قد زاحمت أمام أشجار الجنكبية (Ginkgo)
والبيكنية (Pine) والمنشورية (Cycas) . ملأت الدينوصورات
(Dinosaurs) تقريبا جميع أنحاء الحياة البرية ، مع العديد منها بأحجام هائلة .

ثم تكون اختود أو شرخ عتيق من أمريكا الشمالية وأوربا كان في البداية
ضيق صغيرا مثل البحر الأحمر أو خليج كاليفورنيا ، ولكنه كان بداية المحيط
المتوسط ، وارتفعت جبال ألتس من ألاسكا إلى المكسيك بينما كانت
الأملاك البركانية قائمة في الشمال الشرقي .

أما الحقبة الطباشيرية (Cretaceous) فإنها شهدت ظهور النباتات المزهرة التي

كان لتكاثرها بتطير بذورها في الهواء نتائج تفجيرية أدت إلى انتشارها
بسرعة في جميع أنحاء العالم ، وتبع النحل (Bees) في أعقابها ، بينما كانت
الثدييات ، التي عاشت تحت رحمة الدينوصور لفترة مائة وخمسين مليون
سنة ، لا تزال منزوية في الهوامش الجانبية فيما تكرمت تلك العسالة في
الانقراض .

ومع تدهور الدينوصور وزواله قبل سبعة مليون سنة خلت ، انتفضت
الثدييات لتصبح الحيوانات السائدة في الأرض . وحاصت الطاقة المركزة
الكامنة في بذور النباتات المزهرة لتتيح حصول التلقيح السريع لتطير
واقضت إلى نشوء الطيور . وفي غرب الولايات المتحدة كانت جبال اللاراميد
(Laramide) ، وهي من سلاسل التكوينات الجبلية التي ابتدأت في أواخر
الحقبة الديفونية (Devonian) ، قد أخذت ترتفع إلى أقصاها الذروي بفعل
الاندساسات الصخرية الباطنية التي دمجت الحزام الهامشي بالقشرة القارية .
قبل خمسة وستين مليون سنة كانت توجد حيوانات صغيرة تقطن الغابات
لها هيئة وبنية السنجاب (squirrel) ، لم تكن هذه قد بلغت بعد مرحلة التخصص
في نسق الأشجار ، ولكنها كانت بواكير المخلوقات العليا أو المقدمات
(primates) ، وهي قبيلة (order) منفصلة من الثدييات (mammalia) . وفي أثناء
الحقب الأوليفوسينية (Oligocene) ما قبل أربعين (40) مليون وخمسة وعشرين
(25) مليون سنة خلت تفتت الأرض عن جبال الألب والهمالايا ومعها نشأت
النور البارزة الأنياب (Saber toothed tigers) لتفترس الثدييات الراعية
وتعاش عليها .

ثم جاءت الحقبة الميوسينية (Miocene) التي امتدت من ما قبل خمسة
وعشرين (25) مليون سنة إلى ما قبل عشرة (10) ملايين سنة مضت وشهدت قيام

سلاسل جبال السيرا (Sierra) والروكيز (Rockies) • وباستثناء القوارض كانت جميع فصائل الثدييات المعروفة اليوم قد ظهرت الى الوجود • اشتملت الاحياء الحيوانية (fauna) على الغزلان والضباع (hyenas) والزرافات البدائية (giraffes) والبقرات (bovines) ، وبرزينها بشكل ملحوظ كلب دعي (beardog) هائل الحجم باسم امفيون (Amphicyon) ، وانتشرت حيوانات المستودون (Mastodons) وهي اشباه الفيل بالشكل والحجم بائدة، الى المراعي العشبية في امريكا الشمالية لتضم الى الخيول والجمال الناشئة فيما ازدادت حياة الرعي وملت على اكلة الاغصان والاوراق •

عندما حلت الحقبة البلوسينية (Pliocene) قبل عشرة (١٠) ملايين سنة خلت كانت المنطقة ما بين المدارين (tropics) باردة مصقعة وكانت الاراضي المشوشة واسعة الانتشار ، وفي هذا العصر بلغت الثدييات أوج أحجامها وكثرتها. وفي حوالي منتصف هذا الحقبة، ما بين اربعة الى خمسة ملايين سنة خلت، ظهر كاسح (scavenger) في سهول افريقيا الشرقية لينافس الضباع هناك ما يمكنه اختطافه من فرائس الضواري الاشد منه قوة بكثير. كان هذا من المخلوقات العليا (primates) العيارة التي بقيت ملازمة التربة فيما تمكنت أخرى من تطوير طريقة حياتية فوق الاشجار • كان هذا ادردا أو عديم الاسنان وتنقصه سرعة اللواحم او آكلة اللحوم ، لكن دهائه وسلوكه الجماعي منحاه ميزة اتاحت له الاستمرار في البقاء •

وأخيرا بدأ هذا المخلوق ينحت الاحجار لاستخدامها كأسلحة وأدوات، وتدل اسنائه على انه نشأ على غذاء من الجذريات (roots) والفواكه (fruit) والنقل (nuts) وغيرها من المأكولات التي استطاع الحصول عليها. لكن عبر هضمه ، فقد تعذر عليه اكل الفواكه الخضراء وبعض الاغذية الفجة

كما كان يفعل قرد البابون (baboon)، حمله الى اللجوء الى استعمال النار لتضييع الاطعمة التي تعذر عليه أكلها نية بغية توسيع موارد الغذاء المتوفرة له.

وهذا بالطبع كان الانسان نفسه ، نشأ كنوع منفصل في زمن ما قبل حوالي اربعة الى خمسة (٤-٥) ملايين سنة خلت. كانت الحياة قد تواجدت منذ أكثر من ثلاثة آلاف واربعمئة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، ولفترة الفين وسبعمئة (٢٧٠٠) مليون سنة ، أو ثمانين بالمائة (٨٠٪) من ذلك الزمن ، بقيت على مستوى المتعضيات الاحادية الخلية ، ولم تظهر الثدييات الى الوجود الاخلال الاثنين بالمائة (٢٪) الاخيرة من فترة تواجد الحياة على الارض. وقد مضى (٩٩٩٪) من تواجد الحياة منذ ظهورها في مجموعة شجرة التين وتشكيلة انفرواكت في جنوب افريقيا ، ولم يظهر الانسان الى الوجود الا في الواحد بالالف (٠.٠١٪) الاخير من عمر الحياة على الارض.

فلماذا استغرق الانسان كل هذه المدة ليظهر؟

ما الذي حصل خلال أكثر من الف مليون سنة مضت ، حين كانت حرارة المناخ قد أخذت تبرد ، والبحار تتأكسد ، وبدأ الاوكسجين يتراكم في الجو ، وكان من شأنه أن يؤدي الى اختلاق شكل حياتي خلوي متقدم للغاية على البروكاريوت؟ ولماذا أدى اختلاق تعدد الخلايا الى كل هذا التطور الانفجاري؟ ولماذا انحصرت الحياة في البحار لفترة ما يقرب من تسعين بالمائة (٩٠٪) من وجودها ، ولم تغامر في الامتداد الى اليابسة الا منذ بضع مئات من ملايين السنين فقط؟

ان وعينا واحساسنا بالفعل الطليق منفصلان عن خواص المواد الارضية بحيث ان محاولة الربط بينها واجتسار الفجوة العظيمة الفاصلة بين الطبيعتين تثير المخيلة وتقتدح القريحة • لكننا في محاولتنا هذه نقف ازاء متوجات عدد

الفصل السادس الطبيعة الخلوية للحياة

لقد عاش الانسان كنوع طوال فترة وجوده، ما عدا لحظاتها الاخيرة، مقيدا ضمن نطاق حدود احساسه . انقبض من مدرج الاحجام وتقلص نحو الصغير الى ما دون الادراك، واتسع في الكبر حتى شمل الآفاق . فقد تواجد العالم البيولوجي في تنوع هائل، وكل نوع فسح وجدد خاصيته التي كبرت في الحجم من الولادة الى البلوغ، وبدا ان ضمن أي نوع، لم يكن يوجد مكون ملموس اصغر من المتعضية بذاتها.

ان بعض المخلوقات ، مثل الحشرات الصغيرة ، بدت فعلا تظهر فجأة . كأنما كانت قد عبرت من بعد آخره . وبدون أي منشأ ملحوظ كان التولد التلقائي بالنسبة الى الدقيق المتلصص اسهل للتصور من مستوى كامل من الوجود دون المرئي في قطرة من الماء . تصور، اذا، نشوة الاحساس بالاكشاف في احراز السبق في الانتقال من محددات عالمنا الى عالم آخر، الى انحاء مأهولة بمخلوقات بشعة وأجنبية . هكذا كانت خبرة انطون فان ليفنهوك

• (Anton Van Leeuwenhoek)

• كان ليفنهوك بزازا في هولندا لا يملك أي تعليم اصولي انما شغفا شديدا بهواية سحب وصقل العدسات . تم اختراع المجهر (microscope) في عام ١٥٩٠ من قبل الاخوين الهولنديين فرنسيس وزكري يانسن (Francis and Zachary Janssen) عندما وضعا عدسة في كل من طرفي انبوبة وحصلا على تكبير بقدر عشرة أضعاف . لكن ذلك كان ابتكارا فجا قلما أرقى من الزجاجاة المكبرة . أما ليفنهوك فقد صنع عدسات من نوعية راقية ذوات بعد بؤري قصير جدا وقوة تكبيرية عالية تبلغ من خمسين (٥٠) الى مائة

هائل من العمليات والتفاعلات الانتقائية التي دفعت النشوء التطوري عبر ما يقرب من اربعة آلاف (٤٠٠٠) مليون سنة . وعندما تتأمل نظام تركيبنا البيولوجية نجد ان الطريق الى تواجدها لم يكن سهلا ممهدا ، انما نشأ بمراحل أشبه بطبقات هرم مدرج، وفي قاعدة بنيتا الخلوية تكمن مرحلة أخرى من التطور استبقت مستواها الخاص بها من التقدم والتعقيد.

وخمس وسبعين (٢٧٥) مرة، وقدرة توضيحية تفوق المجهر المركب الاول الى حد بعيد. كان يصقل عدسات من احجام مختلفة عديدة، بعضها لا اكبر من رأس دبوس، ويثبتها بين لوحين نحاسيتين رقيقتين، وفيما امعن ليفنهورك النظر من خلال عدساته في عينات من ماء المطر وماء البرك وكشيط من أسنانه، رأى عالما دقيقا غريبا يعج مكتظا بالحياة.

ولاول مرة في التاريخ دخلت «الحيوانات الدقيقة جدا»، كما أسماها هو عند وصفه للبكتيريا والاوليات الاحادية الخلية، الى عالم ادراكنا الواعي. كان ليفنهورك رجلا شديد الحب للاستطلاع يملك قوى بالغة للملاحظة الدقيقة الممعة، وقد اكتشف عالما جديدا انطلق يتجراه في كل فرصة سنحت له. رأى اشياء لم تثر قبلا قط، وأخذ يشرح، في رسائل مطولة مسهبة الى الجمعية الملكية بلندن، ان السوس في الهري أو الانبار لم تكن تتولد من الحنطة بل كانت ديبا تتولد من بويضات دقيقة، وان البراغيث تتولد بطريقة الحشرات المضادة ولم تثبت من الرمل أو التراب، وان السمك الصدفي كان يتكاثر بطريقة البيض ولم يتولد عن الرمل، وان بلح البحر (mussels) كانت أحيانا تأكلها حورناته الدقيقة. عكف على دراسة الدورة الدموية في الاوعية الشعرية في ذيل سمكة الجري، وفي القدم الوترية للضفدعة واذن الارنب، وكان يرسم في رسائله ويوضح الكريات الحمراء لشتى الحيوانات. وفي عام ١٦٧٧ وصف ولاول مره الحبيبات المنوية (spermatozoa) من الحشرات والكلاب والانسان، وظل طوال خمسين عاما يتحرى ويصف للعالم الكون الفتيان الساحر الذي اكتشفه في الجانب الآخر من عدساته.

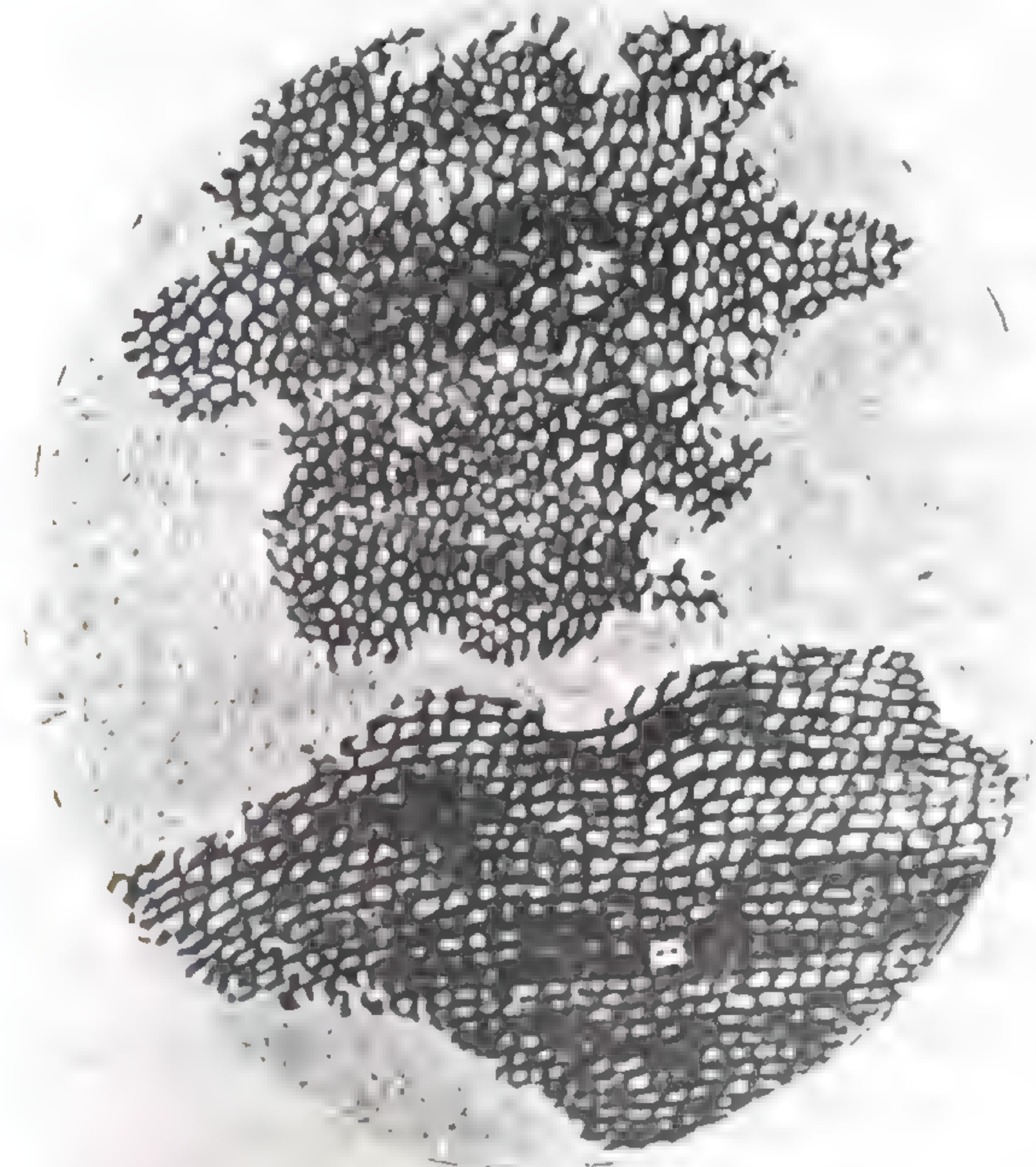
وفيما كان ليفنهورك عاكفا على دراسة عالمه الدقيق، لاحظ روبرت هوك (Robert Hooke) بواسطة مجهر خشن اولي ذي عدسات من الزجاج المصهور، المظهر المثقب في شرائح رقيقة من الفلين وأطلق على تلك الثقوب اسم الخلايا

(cells). لكن الذي شاهده كان جدران الخلايا، ولمدة مائة وخمسين (١٥٠) عاما ظل الاعتقاد سائدا بأن هذه الملامح تؤلف البنية الاساسية للنباتات الى ان أدرك الخبير النباتي الالماني هوغو موهل (Hugo Mohl) ان أساس الحياة لم يكن جدار الخلية الذي رآه هوك، وانما المادة الشفافة شبه السائلة الموجودة في باطن الخلية، وأطلق على هذه المادة اسم البروتوبلازما (protoplasm) او الجيلة الاولى.

لكن خلايا الحيوان أصغر حجما لعدم احتوائها على جدران الخلايا كما في النبات وباستثناء بعض كالبيض والحبيبات المنوية وكريات الدم، كانت اصعب للرؤية بواسطة المجاهر الاولى، وتعذر اجراء أية دراسات تفصيلية دقيقة للخلايا الحيوانية الى ان قام ليستر (Lister) باختراع المجهر الماصح أو اللالوني في عام ١٨٢٧. وبعد اربع سنوات من ذلك تمكن روبرت براون (Robert Brown) من ملح هنة او هباءة قاتمة في جيلة خلايا النبات واكتشف النواة (nucleus) ثم أدرك ماثياس شلايدن (Mathias Schleiden) في المانيا ان النواة لها علاقة بانقسام الخلية واكتشف ان هذه هي الطريقة التي تنامي بها الخلايا من الخلايا الموجودة قبلا، أي ان الخلايا تتكاثر بالانقسام.

وبعد سنة، عقب محادثة أثناء عشاء مع شلايدن أدرك خبير التشريح الالماني ثيودور شفان (Theodor Schwann) ان خلايا الحيوان التي كان عاكفا على دراستها كانت تسلك مثل خلايا النبات لدى شلايدن، فخطر له ان الخلايا هي مثل المتعضيات تقوم بانجاز جميع الانشطة اللازمة التي تقوم بها الميكروبات الاحادية الخلية، وانها في الحيوانات والنباتات منظمة في وحدة جماعية متسقة متناغمة لتشكل متعضية كاملة على مستوى أعلى من الوجود. ثم على حين غرة وفي واحدة من اوسع التعميمات الشاملة في تاريخ العلوم

رأى شفان قاسما مشتركا أعظما لجميع الكائنات الحية وهو ان النباتات والحيوانات بأجمعها كانت مبنية من نفس الوحدة الأساسية وهذه هي الخلية. قام شفان بنشر افكاره في عام ١٨٣٩ في ورقة بعنوان «حول تماثل البنية والنمو في النباتات والحيوانات» وبذلك تم اقرار وتثبيت النظرية الخلوية للحياة.



الشكل ١/٨ - رسومات لقطعة من الظن من كتاب هول: «التصوير المجهرى micrographia». وهنا تشير A إلى مقطع مستعرض و B إلى مقطع مستطيل.

ان الخلية هي أصغر منظومة بيولوجية مستقلة قائمة بحد ذاتها، وهي أساس الحياة، وجميع الكائنات الحية تتألف أما من خلية مفردة أو من توليفة من الخلايا، وبالنتيجة فان الخلية هي ماكنة بيوكيميائية قادرة على التناسخ الذاتي. وعند توفر مصدر للطاقة والمواد الخام الضرورية بوسع الخلية ان تشيد مكوناتها الخاصة وأن تقوم بنسخ ومكاثرة تركيبها برمتها. وعند التأمل في امر ان عدد العناصر أو المقومات الفردية (constituents) فيها يمكن أن يمتد الى عشرات الآلاف كلها معبأة في كرة متناهية في الصغر تحتاج الى التكبير عدة مئات من المرات لجعلها مرئية، فانا سنجد انها عبوة عجيبة للغاية حقا.

عند النظر اليها من خلال مجهر ضوئي تقليدي تبدو جميع الخلايا بشكل كبسولات أو سنقات متألقة من مواد شفافة ومتجانسة الى حد كبير. والبنى الوحيدة التي يمكن تمييزها هي الجسيمات المتلونة كالجيلة اليخضورية (chloroplast) في خلايا النبات التي تتضمن اليخضور (chlorophyll)، أو مواد مصطبغة كما في الخلايا الحيوانية. وللتمكن من دراسة الخلايا يتحتم على الخبير المجهرى استعمال صبغات كيمياوية مختلفة لتلوين أو تفتيح ملامح منتقاة في باطن الخلية. وظلت هذه الطريقة الوحيدة لدراسة تركيبة الخلية وانشطتها طوال أكثر من قرن واحد.

وحين بدأ الخبراء البيولوجيون في القرن التاسع عشر بمعاينة العالم المجهرى وجدوه مكتظا بشتى انواع المتعضيات الاحادية الخلية تقف أساليبهم التصنيفية ازانها عاجزة. كانت الكائنات الاولى (Protozoa) وهي حيوانات احادية الخلية ذوات خلايا كبيرة ومعقدة نسبيا. فقد كان بينها البكتيريا، وهي أصغر حجما وأبسط تركيبة، كما كان بينها الطحالب والفطريات. كانت تنويع غريبة من المخلوقات متواجدة على مستوى يتغوش فيه التميز

بين الحيوان والنبات منها. لكن بين جميع المتعضيات الاحادية الخلية، كانت البكتيريا والطحالب الخضزرزرقاوية فقط لا تتضمن نواة متضخمة وبالنسبة جرى تصنيفها معا في رتبة منفصلة عرفت فيما بعد بالبروكاريوت، بينما تضمنت خلايا جميع النباتات والحيوانات الاخرى نوى مغلفة في أغشية وأسيت هذه بالخلايا اليوكاريوتية.

مر المجهر الضوئي خلال العديد من التحويرات والتجديدات عبر سنوات القرن بهدف تحسين قدرته، وظهرت مجاهر اختصاصية منها المجهر ذو التباين الطوري، والمجهر الاستدلالي، والاستقطابي، وذو المدى القاتم، لكن الاوصاف التفصيلية بقيت على الدوام بعيدة عن متناول الرؤية بشكل محزن مؤلم. وبما ان الانضاح يتوقف على طول الموجة الضوئية فقد كان هذا مقتصرًا على ما يقرب من (0.24) من الميكرومتر (micrometre = 0.001 ر. أو واحد بالالف من المليمتر) ولما كان طول قطر البروكاريوت يتراوح ما بين (0.3) الى (2 ر.0) ميكرومتر، والخلايا اليوكاريوتية بتركيباتها الاكثر تعقيدا اكبر من ذلك بنحو عشر مرات، فقد كان بوسع التحليل الايضاحي في تلك المجاهر ان يبين الخلية انما لم يكن من الدقة بما يستطيع بيان التفاصيل البنيوية.

ثم في عام 1924 طرح لويس دبروغلي (Louis de Broglie) وجوب انتقال الالكترونات (electrons) في موجات خاصة بها كالضوء مع كون طول الموجة متناسبا عكسيا مع جذر الفلطة، ونظريا بإمكان الحزم الالكترونية (electron beams) أن تتألف من اطوال موجية اقصر بكثير مما في الضوء، وعليه فان المجهر العامل بالالكترونات سيكون أقوى وأوضح بكثير من المجهر العامل بالضوء، وان حزمة الكترونية بقوة مائة (100) كيلوفولط تعطي ايضاحا

تفصيليا أقوى منه بالمجهر الضوئي بنحو مائة واربعين (140) الف مرة. وعلى اساس هذه النظرية تم بناء أول مجهر الكتروني في المانيا في عام 1932 مجهزة بعدسات مغنطية واتجت شركة سينس هالسكة نموذجًا تجاريا منه في عام 1938.

جاء المجهر الالكتروني ليفجر الاوضاع ويحدث انقلابا ثوريا في معرفة السبل التي تنظم بها الخلايا، وأوضح ان الفارق بين النوعين من الخلايا كان اعظم من مجرد وجود أو انعدام النواة، وكان اختلافا بالغا في البنية دون الخلوية أو الفرع خلوية (subcellular). وبعد الاطلاع على مدى تعقيد البنية والكيمياء في الخلايا اليوكاريوتية، غدا واضحا ان الفارق بين الخلايا البروكاريوتية والخلايا اليوكاريوتية كان عظيما لدرجة لا بد ان نشأة وتطور هذه الاخيرة كان بمثابة خطوة كبرى في عملية النشوء.

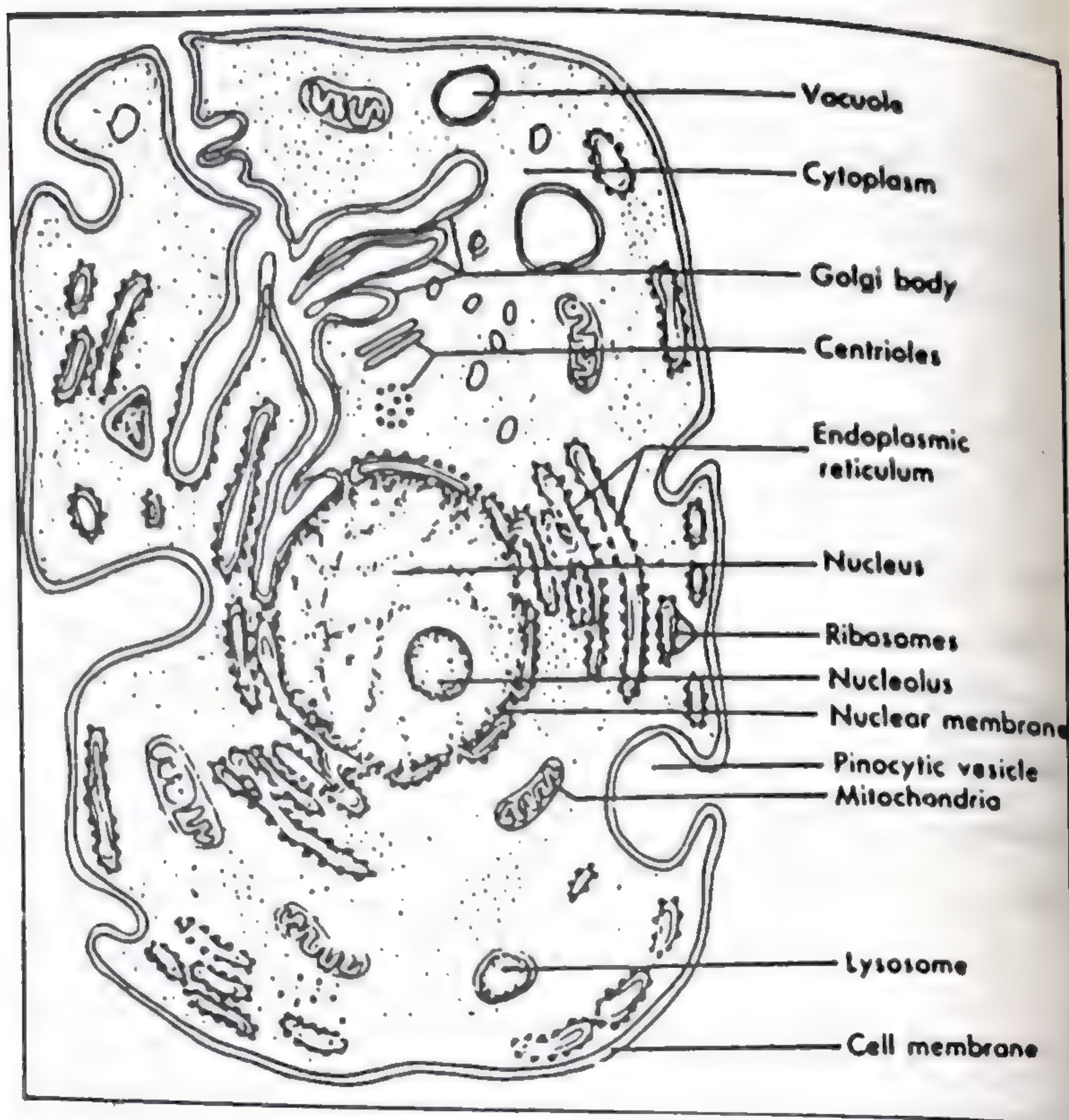
كلا نوعي الخلايا مغلف بأغشية ماثلة في بروفيلها (profile) أو مظهرها الجانبي وتنقسم تحت التكبير العالي الى بنى ثلاثية الطبقات تبلغ سماكتها نحو (0.008 ر.0) من الميكرومتر. لا توجد وحدات غشائية التغليف في الخلايا البروكاريوتية، وتظهر المادة النووية والجبيلة الخلوية أو السيتوبلازما (cytoplasm) متسقين وغير منفصلتين، وتتألف الوحدات البنيوية الرئيسة من جسيمات (particles) دون خلوية (subcellular) يبلغ قطرها حوالي (0.1 ر.0) من الميكرومتر تعرف باسم الريبوسوم (ribosomes) يتم فيها تمثيل أو تصنيع البروتينات. (والريبوسومة سكرة خماسية مشتقة من حوامض النووية وصيغتها الكيميائية $C_5H_{10}O_6$)

أما الخلية اليوكاريوتية، من جهة أخرى، كما انكشفت تحت المجهر الالكتروني، فانها ليست سيتوبلازما متجانسة (homogeneous)، وانما متاهة

(مضيق) من المقاطع تفصلها الأغشية . وهذه المنظومة من الأغشية قائمة
عن تلافيف الغشاء الخلوي الذي يجعل جميع الأغشية متواصلة ببعضها .
ونواة الخلية محاطة بالغشاء تنقسم حوامض النووية والبروتينات . كما
توجد في مناطق أخرى من الخلية بنى منتظمة منفصلة تسمى بالاورغانيلا
(organelles) التي تلعب أدواراً نوعية في الوظائف الخلوية ، ومنها
الريوسومات التي تقوم بتخليق البروتينات ، والميتوكوندريا كمصادر طاقة
الخلية حيث أكسدة حامض البيروفيك (pyruvic acid) إلى ثاني أكسيد
الكربون والماء كطاقة تستخدمها بقية الخلية . ويوجد فيها أيضاً ما يسمى
بأجسام غولجي Golgi bodies = وهي بنى في جيلة أو سيتوبلازما الخلية
تشارك في عملية تصنيع الغذاء في الخلية ، والليوسومات (Lysosomes :
جسيمات في السيتوبلازما تتضمن عدداً من الانزيمات الهضمية لها وظائف
تحليلية ، وغيرها .



الشكل ٢/٨ - مقطع عرضي للجزء الرئيس لخلية ندى من مربي من خلال مجهر
الكروني يوضح النواة وغشاء النواة ومنطقة النواة . كما تظهر في السيتوبلازما
الغويصلات والميتوكوندريا . والخط الأفقي في أسفل الزاوية اليمنى يمثل
الف نانومتر (١٠٠٠ nm) ، ويبلغ هذا التكبير (٧٥٠٠) ضعف .



الشكل ٢/٨ - رسم لخلية يوكاريوتية

إن النواة (nucleus) هي موقع التخزين للطبقة (bluepoint) لتناسخ أو كائنة كل المتعضية برمتها. تأتي هذه في الخلية اليوكاريوتية كأورغانيلة متميزة واضحة، بينما في الخلية البروكاريوتية ينقصها الغشاء النووي وتطفو بطلاقة في السيتوبلازما، والمعلومات الوراثية للخلية مخزونة في التركيبة الكيميائية ذات بوليمر خطي طويل يسمى بالحامض الخلوي

المبني دنا (Deoxyribonucleic DNA: acid) *
يؤلف حامض دنا الجزئة المعلوماتية للمنظومة الحية، وتقوم بنسبه المسترة (coded structure) بتعين سياق الحوامض الامينية في البروتينات، أما البروتينات هي التي تخلق المتعضية، وهي بمثابة العمال الذين يجعلون كل ذلك ممكناً. فالبروتينات هي التي تقوم بتكوين البنية، ونقل المواد، وتنظيم العمليات، وفوق كل شيء، هي الانزيمات التي تقوم بتحفيز جميع التفاعلات البيوكيميائية. ويترتب على جميع الخلايا، سواء كانت بروكاريوتية أم يوكاريوتية، على تشيل البروتينات، وهي مهمة يتم انجازها في جسيمات صغيرة دون خلوية تسمى بالريبوسومات.

يبلغ طول قطر الريبوسومة اليوكاريوتية حوالي (٢٥.٠ ر) من الميكرومتر ولها وزن جزيئي يبلغ اربعة ملايين (٤.٠٠٠.٠٠٠) في المتعضيات العليا، ومليونين وسبعمائة الف (٢٧٠.٠٠٠) في البكتيريا^(١). وكل ريبوسومة تتألف من وحدتين فرعيتين (subunit) اثنتين، يقع حجم احدهما تقريبا بضعف حجم الاخرى، تضم الوحدة الفرعية الاصغر جزئة كبيرة من حامض الريبونوويك دنا (RNA: ribonucleic acid) بينما تضم الوحدة الفرعية الاكبر جزيئين دنا غير متساويتي الحجم. بالإضافة الى ذلك يوجد حوالي عشرين (٢٠) بروتينا مختلفا في الوحدة الفرعية الاصغر، وأربعين (٤٠) في الاكبر. وبقدر ما قد أمكن التثبت منه تتواجد البروتينات بجزئة واحدة لكل منها.

والترتيب الوظيفي لمكونات الريبوسومة نوعية اختصاصية للغاية .
وتجلى هذا الاطراد التنظيمي بحقيقة انه قد تمت بلورة بعض الريبوسومات،
كما يمكن ايضا على سبيل المثال استحداث ريبوسومات أجنة الطيور على
التطور بمجرد تبريد الخلايا^(٢).

وعلى عكس الريبوسومات لا تظهر الميتوكوندريا الا في خلايا اليوكاريوت.
والميتوكوندريا هذه جسيمات سحبية الشكل يتراوح عرضها ما بين نصف
الى ميكرومتر واحد (٠.٥-١)، وطولها ما بين خمسة الى عشرة (٥-١٠)
ميكرومترات، وهي محاطة من الخارج بغشاء كيسي (thylakoid) ومفصولة
الى سلسلة من الحجرات بواسطة أغشية باطنية تسمى بالمسحات الدهنية
(christae)، وعدد المسحات الدهنية في الخلايا النباتية أقل منه في الخلايا
الحيوانية، ويتراوح من واحدة في الطحلبة الاحادية الخلية (microsterias)
الى خمائة ألف (٥٠٠.٠٠٠) في الامية العملاقة كاؤس كاؤس
(chaos chaos).

عند النظر الى الميتوكوندريا في خلية حية تبدو انها في حالة حركة
مستديمة، وتشكل المراكز التنفية للخلية، ويتم تأييض الكربوهيدرات
والدهون، والى حد أقل البروتينات في هذه الميتوكوندريا لتزويد الطاقة الى
الخلية . وفي سلسلة من التفاعلات الكيميائية تخفزها الانزيمات تتم تجزئة
المواد ذوات الطاقة الكيميائية الاعلى الى مركبات ذوات طاقة كيميائية أقل،
ويستخدم فارق الطاقة لتشيل جزيئة أنب عالية الطاقة $ATP =$ ثلاثي
فوسفات الادينوسين) ان الأنب هي المادة الكيميائية الغنية بالطاقة التي
تقوم الميتوكوندريا بتوزيعها الى مواقع التشيل المختلفة لتنشيط المركبات
لتحويلها الى بنى كيميائية أخرى.

في النباتات الخضراء تآلف الارغانيلة التي تعمل على التفاف ضوء
النس من جسيمة معقدة بنويا تسمى بالكلوروبلاستة او اليخضور
(chloroplast)، ويتباين عدد اليخاضير في خلايا النباتات، ففي بعض الطحالب
مثل السبيروجيرا الشعيرية (spirogyra) يوجد يخضور مفرد واحد فقط،
بينما قد يوجد ما بين ثلاثين الى أربعين (٣٠-٤٠) يخضورا في كل خلية
في الجزء الاسفنجي من شرنقة العشب.

نشأت اورغانيلات أخرى في الخلايا اليوكاريوتية مع تزايد اشكال
الحياة في التعقيد . فعلى سبيل المثال ان جهاز غولجي (Golgi apparatus)
يتآلف من منظومة من الاغشية تستخدم في رزم او تعبئة البروتينات لافرازها،
مثل الانزيمات الهضمية . تتم مراكمة هذه البروتينات في جهاز غولجي ثم
تضاف اليها الكربوهيدرات، ويجري تغليف عدد كبير من الجزيئات في الغشاء
الواحد. بعد ذلك تنقل العبوة الى حافة الخلية حيث ترح محتوياتها الى
الخارج.

والليوسومات جسيمات تقع بحوالي حجم الميتوكوندريا انما بدون البنية
البالغة التنظيم. وهذه الاورغانيلات مجلات (sacs) من الانزيمات الهضمية
التي يمكنها تفكيك بروتينات وحوامض نووية كبرى، ولم يكتشف غرضها
حتى مؤخرا ولكن ادراكه أباط اللثام عن تنامي تعقدية الخلية البيولوجية.
ان المكونات الجزيئية لجميع الكائنات الحية في حالة تدفق دائم،
وتجري تجزئة واستعاضة المقومات باستمرار، وحتى البنى المتناهية في
التظيم كالميتوكوندريا لها وجود زائل. فعلى سبيل المثال ان مدى عمر
ميتوكوندريا الكبد يتراوح ما بين عشرة الى عشرين (١٠-٢٠) يوما. انما
لم يتضح في الحال السبب المؤدي الى هذا الوضع.

لكن السبب يتعلق بتخزين المعلومات . فان بنى الجزيئات البوليمرية في

الخلية والوحدات دون الخلوية ناتجة عن عدد هائل من تنف المعلومات ، ويتوجب أن تكون كل تفرسة في غاية الدقة لتكون محكمة الكفاءة . فالمنظومة المكلفة باصلاح العيوب التي تحصل ستطلب منظومة معلوماتية من قص الجسامة تقريبا . لذلك فانه من الابطس أن يتم تعويض البروتينة او الاورغانيلة الناقصة بأخرى جديدة التصنيع ، وعليه متى ما تبدأ فعالية أحد المكونات الخلوية بالتعثر ، تقوم الليسوزومة بفصل ذلك الجزء في الحال ويجري تلقيم حطامه في فرن ميتوكوندريونة سليمة لتزويد الوقود الى عمليات التمثيل الأخرى (٢) .

لليسوزومة وظيفة اضافية أخرى . فعندما تموت الخلية تنفجر مجلة الليسوزومة وتقوم الانزيمات المنطلقة بهضم اليوبوليرات الخلوية وتعيدها الى وحداتها المونومرية ، وتمحي بذلك التنظيم الكيميائي الذي جعل الخلية كيافا بيولوجيا ، وتعيد اللبناات البنائية للاستخدام مرة أخرى .

جميع الخلايا مغلقة في بنية غشائية لها خواص فريدة لاحتواء المكونات الخلوية والعمل بمثابة حاجز ترشيحي الى البيئة الخارجية ، ومن الخواص الشائعة للأغشية الخلوية هي طبيعتها البروتين دهنية ، وبالنسبة للدهنيات تملك الفوسفودهنيات خواص تجعلها ملائمة خصيصا للغشاء .

عندما نشأت اليوكاريوت احتفظت بالبنية الخلوية للغشاء ووسعتها الى حد كبير ، وعند معاينتها في مجهر الكتروني تظهر الخلية اليوكاريوتية كمحيار من المقاطع أو الاقسام تضم السيتوبلازما والجسيمات دون الخلوية . تتوغل انعمادات الغشاء عميقا في الخلية وتتولى منظومة الغشاء السيتوبلازمي الدقيقة التفاصيل خلال الخلية كسة لغشاء الخلية . وهذه المنظومة المعقدة للغشاء ، شبكية الجيلة الباطنية ، تعمل على أكثر من مجرد زيادة المساحة السطحية ، فهي الآن تعتبر جزءا مهما من الخلية لتصنيع المنتجات الخلوية .

توجد بداخل البنية انزيمات تقوم بالتحكم في التفاعلات الواقعة في أجزاء استراتيجية من الخلية . وشبكية الجيلة الباطنية تشكل تحويرا تكييفيا رئيسا للخلية اليوكاريوتية معدوما في خلايا البروكاريوت ، وعلى ما يظهر انمرورها من خلال باطن الخلية يتيح بعض النقل المباشر لجزيئات وايونات مختلفة من قسم الى آخر في الخلية . وحتى الى خارج الخلية . ومماثل تعتد الخلية اليوكاريوتية طريقتها في التكاثر المساة بالتخيظ أو الانقسام القليلي (mitosis) . ربما يبقى دنا (DNA) اليوكاريوت عائما في السيتوبلازما كوهن طويل (straud) مربوطا في أنشوطية (loop) يلتف دنا اليوكاريوت في صبغيات (chromosomes) تبدو كخرز منظومة في خيط ، وكل صبغية تتضمن مجموعة معينة من الجينات (genes) . يتباين عدد الصبغيات باختلاف الانواع ، فذبابة الفواكه لها ثمان (٨) ، والبصل ست عشرة (١٦) ، والانسان ست وأربعون (٤٦) ، والسائمة ستون (٦٠) .

يبدو أن النواة تبقى بنية متجانسة اثناء رده كبير من عمر الخلية اليوكاريوتية ، وذلك باستثناء مساحة كروية منفصلة صغيرة في باطن الاورغانيلة تسمى بالنوية nucleolus : وهي جسم ظاهر يتألف من البروتين مع بعض رنا (حامض الريبونوويك) عادة كروية الشكل تقع في باطن النواة (nucleus) . يبدو ان النواة nucleus تبقى خالية من كل نشاط اثناء مرحلة الاستراحة أو الهجوع مع الصبغيات منتشرة في فوضى ضاربة . غير أن هذه هي الفترة التي يجري فيها تجميع الكيمائيات المونومرية (monomeric chemicals) لاستساخ جزيئة الدنا (DNA molecule) .

وعندما يحل ميعد التكاثر يبدأ زوجان دقيقا البنية من الوكائت ، او السنتريولات (centrioles) ، يقعان مباشرة خارج النواة ، يبدأن بالابتعاد

عن بعضهما، وفيما يفعلان ذلك يمدان بينهما خيوطا سهمية (gossamer threads) تسمى باللياف المغازل (spindle fibres) • وعندما تتحرك الوكائت (centrioles) نحو طرفي الخلية المتقابلين تبدأ الصبغيات بالالتفاف والتكثف.

آنذاك يبدأ غشاء النواة بالتصدع والتفتت متيحاً للمغازل الامتداد عبر الخلية كلها، وبهذا الوقت تكون الصبغيات قد تشكلت في بنى قضيبية واضحة فتلتصق المغازل بالأجسام الصغيرة فيها. بعد ذلك يتم سحب الصبغيات الى خط استواء (equator) الخلية حيث ترتصف كالتقاق لتتقسم بالتساوي بين الخليتين الابنتين.

ومتى يتم الانقسام بين الصبغيات تبدأ المغازل بلفها نحو قطبي الخلية. بعد هذا تسترخي الصبغيات من فلكاتها أو حوياتها (whorls) المكتنزة • وفي أثناء ما تبدأ الصبغيات بالانحلال من تلافيفها والامتداد يجري تفريغ (spun) نووي حول كل مجموعة، وبعد ذلك يتجمع الغشاء النووي معا في الوسط وينقسم وبذلك يفصل الخلية الأصلية الى خليتين ابنتين مستقلتين تامتين.

تستغرق الخلية البشرية حوالي ثماني عشرة ساعة للتجدد بينما تعد هذه الفترة بالدقائق بالنسبة الى البكتيريا، أي ان هذه تتجدد في خلال ثماني عشرة دقيقة بدلا من ساعة! لكن الدنا البكتيري هو بمثابة صبغية مفردة تتألف من حوالي الفين وخمسمائة (٢٥٠٠) جينة مع ما يقرب من مليون مونومرا منظومة معا في بوليمر (polymer) 'ولي (linear)، يبلغ طوله عند مده بتمامه ما يقرب من مليمتر ونصف (١.٥ ملم). ومن جهة أخرى، يمكن ان يتضمن دنا الخلية الثديية مائة ألف (١٠٠ ٠٠٠) جينة ويتألف من بوليمر يتضمن أربعة آلاف مليون (٤٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠) مونومرا ويبلغ طوله عند مده على تمامه خمسين (٥٠) بوصة.

تشمل البروكاريوت على البكتيريا، والسيانو بكتيريا، والكلوروكسي بكتيريا (١) (chloroxybacteria) الحديثة الاكتشاف، وبعض المتعضيات المتعددة الخلايا مثل الاكتينوبكتيريا والميكسوبيكتيريا المثمرة (actino bacteria fruiting myxobacteria) • أما اليوكاريوت فتشمل على معظم المتعضيات المألوفة بما في ذلك مثل حوامل البحر (seaweeds)، والاوليات (protocoz) والفطريات (fungi)، والنباتات والحيوانات. تمتلك البروكاريوت مسالك تآيضية (metabolic pathways) للجزئة التخيرية للمواد العضوية • واختزال أو تثبيت ثاني اوكسيد الكربون والهيدروجين الجويين. واكسدة كبريتيد الهيدروجين الى كبريت. والتشيل الحيوي (biosynthesis) للحوامض الدهنية ومشتقات الايسوبرين مثل البورفرين (porphyrins) • مع قيام اليوكاريوت جاء التنفس الهوائي والتشيل الستيرويدي (steroid synthesis) • (الاستيرويد هو أحد مجموعة من المركبات تشمل الستيروول وهو من الكحول غير المشبعة مثل الكولستيروول، والحوامض الصفراوية والهرمونات الجنسية وغيرها).

تشمل هذه المسالك، مع الآليات الخاصة لاستساخ وتشيل الجزيئات الضخمة (macromolecules) أغلب الانشطة الخلوية الاساسية لجميع الكائنات الحية قاطبة. وبما ان هذه تتواجد حتى في المتعضيات المجهرية فانا بالحتم نواجه الادراك الرهيب ان الفوارق التي نقيها بين أنفسنا وبين الاشكال الأخرى من الحياة ليست في الحقيقة بالاهمية البيولوجية التي نشتهي أن نعتقد، وان جميع الابتداءات البيوكيميائية المعطى كانت قائمة في الوجود قبل ظهور أية نباتات وحيوانات، وقبل أن تتضمن القارات اية حياة، وقبل ان تطور الخلايا وسائل تعدد الخلوية.

الفصل السابع الرياضة الجزيئية

يتألف جسم الانسان من حوالي عشرة تريليونات من الخلايا (التريليون الامريكي هو الرقم واحد متبوعا باثني عشر صفرا، وهو المقصود بلفظة التريليون في كل هذا الكتاب). وكل خلية تعمل كالمعضية الاحادية الخلية تقوم بتناول المواد الغذائية وتديم تواجدتها فيما تقوم بانجاز وظيفة نوعية معينة في خلقة الشخص الكلي. ومن التألف المتناغم البالغ التعقيد للوظائف الخلوية يتأني الوعي والاحساسات والعمليات الحياتية التي تتيح لنا التواجد في عالمنا الابعادي. وفي مرتكز وأساس التعقد العددي والسلوكي لوجودنا تكمن الوحدة الذاتية الكينونة، ألا وهي الخلية.

ان الوحدة الاساسية الجوهرية لتركيبنا هي الخلية اليوكاريوتية وهي بالغة في الصغر تتعذر رؤيتها بالعين المجردة ويتوجب لرؤيتها تكبيرها عدة مئات من المرات. لكن حجم وتعقد اليوكاريوت أعظم من مثليهما في البروكاريوت بألف مرة. وبالرغم من تناهيها في الصغر فان البروكاريوت ليست بذاتها عنصرية (elemental). فهي ايضا وحدات ذاتية الكينونة تتبع حيورتها وتكاملها من التألف التناغمي لمقومات من رتبة أخرى تكمن في قاعدتها الاساسية.

والبكتيريا تؤلف أبسط اشكال الحياة. وعبر هوة الى أعماق الصفر التي يعجز عن الوصول اليها حتى المجهر الالكتروني يوجد عالم هائل يعج بالاحياء يربط ما بين الحياة والجماد. وقد كان من هذا العالم ان نست الوحدات البنيوية التي خلقت المنظومات الحية، وهذه الوحدات البنيوية هي الجزيئات الكيميائية.

لقد اضطر علم الكيمياء بذاته أن يتطور على مدى مائتي سنة قبل أن يتمكن من معالجة الكيمياء المعقدة للمنظومات البيولوجية ، وبحلول القرن الثامن عشر كان العلماء قد ارسوا العديد من مبادئ الكيمياء والفيزياء التي كانت صائبة بالنسبة الى المواد اللاعضوية لكن تعقدية المنظومات البيولوجية وطبيعتها التوارية بدت تستثناها من منطوق هذه المبادئ والقوانين الفيزيائية الملموسة . وتم اقرار هذا الرأي رسميا في عام ١٧٠٧ عندما أعلن الطبيب الألماني جورج ارنت شتايل (Georg Ernst Stahl) النظرية بأن الحياة تخضع لقوانين خاصة لا مادية . كانت هذه النظرية الحيوية التي نصت على أن جميع الكائنات الحية تتضمن قوة حية ، وهي قوام لا مادي غير قابل للفصل يقوم بتوجيهه وإتاحة انجاز وظائف جميع العمليات الحياتية.

كان الكيميائيون الاولون يدركون أن المواد من الكائنات الحية كانت بوضوح تختلف عن العالم الفلزي وتقع في فئات متميزة . فالنشاء الابيض الطباشيري يستخرج من القمح والبطاطا والرز ويستخدم في تجئة ياقات الاعيان، وتستخرج الزيوت من النباتات والحيوانات للاستعمال في الاغذية وكوقود لمصابيح الاضاءة ولما كانت الدهون والشحوم غير قابلة للذوبان وزيتية الملمس، فانها جمعت معا في صنف الدهون (lipids) . ثم جاءت مجموعة ثالثة وجدت في الاغذية المفخرة للصنفين الآخرين ، وكانت هذه المواد الزلالية او الانبومية السائلة الموجودة في آح البيض والحليب والدم . وكانت مفردات هذه الفئة غير مستقرة بوجه خاص وتخرت عند تسخينها .

على تقيض أغلب المركبات اللاعضوية كانت منتوجات التعضيات غير مستقرة ازاء الحرارة وتغير عند التسخين تغيرا ثابتا لا رجوع فيه، واغلبها غير قابل للاحتراق . بين التحليل العنصري ان النشأ تألف من الكربون

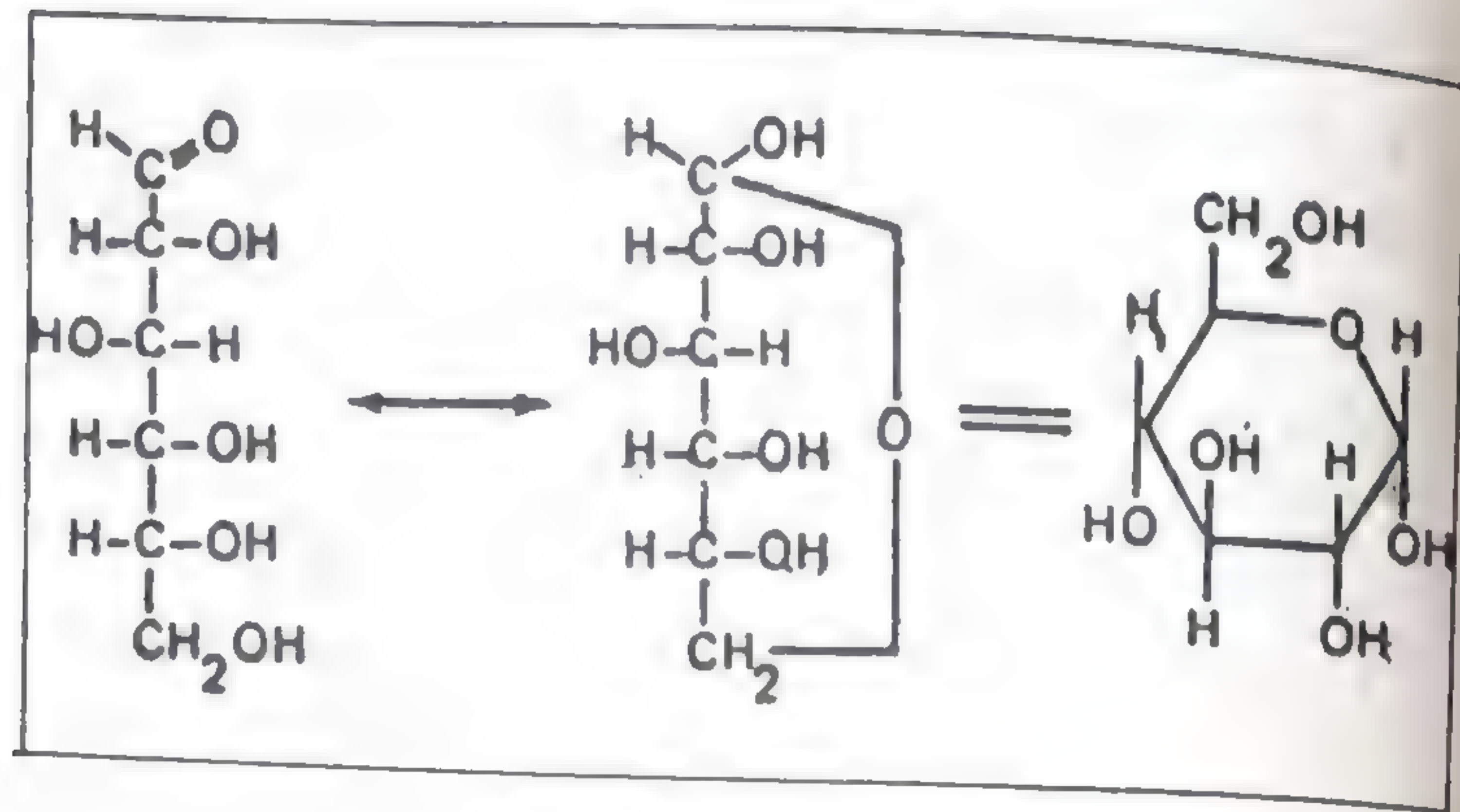
والهيدروجين والاكسجين، وان الدهون كانت في معظمها تألف من الكربون والهيدروجين وقدر ضئيل من الاوكسجين، وان المواد البومينية تضمنت الكربون والهيدروجين والاكسجين والنيتروجين وأحيانا الكبريت والفوسفور . ومع كل هذا القدر من الكربون والهيدروجين بدا واضحا لماذا كانت هذه المواد قابلة للاحتراق . وما عدا ما هو في الحجر الجيري ليس الكربون عنصرا شائعا بين الفلزات . أما في المنظومات الحية فهو دائما موجود .

كانت قوانين واساليب الكيمياء قد ارتسخت بحلول القرن التاسع عشر، والكثير من الكيمياء الحديثة قد نما من أعمال يونس برزيليوس (Jons Jacob Berzelius) في السويد . فقد تمكن برزيليوس في بسواكير أعوام ١٨٠٠ من التثبت من التركيب العنصري المضبوط والصيغ الكيميائية لنحو ألفي (٢٠٠٠) مركب (compound) . كما انه قدم للعالم العديد من الكلمات الكيميائية بما في ذلك كلمة بوليمر (polymer) للدلالة على جزيئة كبيرة تضم معا وحدات فرعية صغيرة، وكلمة كاتاليت (catalyst = محفز) للدلالة على المادة التي تساعد في اتمام تفاعل كيميائي دون ان تستهلك هي بذاتها .

كانت بضعة مركبات بيولوجية نقية قد سبق وشاعت معرفتها قبل عهد برزيليوس ، وكان قد تم عزل العديد من السكاكر البلورية من عدد من المصادر وكانت اليوريا (Urea) ايضا معروفة كبلورات تظهر عند تبخر البول الى حد الجفاف . بدت المركبات المنقاة المشتقة من المنظومات الحية تتضمن العديد من الخواص المشتركة التي لا تعداها الى الكيماءات اللاعضوية . صاغ برزيليوس كلمة عضوي (organic) وقسم الكيمياء الى عضوية ولا عضوية ، مع الاولى مشتملة على المركبات من المنظومات الحية ومتميزة ومنفصلة عن الكيمياء اللاعضوية .

وهكذا تم وضع التمييز الكيميائي، وأبدى أصحاب المذهب الحيوي ارتياحهم . فبعض عن كيفية نشوء الحياة ، فانها بقيت مسألة فلسفية لأن لم يمكن أن تأتي من مادتها الدنيوية من التربة او من الفلزات . فان كان ليأتي تفسير علمي لنشأة الحياة، فان مسألتها الاساسية آنذاك كانت هي نفسها التي قامت بعد مضي مائة عام عليها، وهي: كيف تمكنت المواد العضوية أن تتأتى من المواد اللاعضوية في الأرض؟

ظل تمييز برزيليوس بين الكيمياء العضوية واللاعضوية قائما لمدة احدى وعشرين سنة فقط . اذ أن أحد تلاميذه بالذات، وهو الكيميائي الالماني فريدريش فولر (Friedrich Wöhler) قام بنفس الحاجز على حين غرة . كانت تجربة بسيطة ، ولكنها لم تقبل النزاع . فقد تمكن فولر من انتاج اليوريا من تسخين سيانات الامونيوم (ammonium cyanate)، وهي املاح لا عضوية ، بينما اليوريا هي المادة الاعتيادية التي تفرزها الثدييات في بولها . وجاء هذا الاكتشاف بمثابة ضربة قاسية لأصحاب النظرية الحيوية ، ولكنهم اتعشوا لحد ما في محاولة لاعادة صياغة موقفهم، انما تجربة فولر كانت مجرد البداية للانهار الكلي للتقسيم بين كيمياء الاحياء وكيمياء الجماد.



D-Glucose

الشكل ١/٧ - الصيغ البنوية للفلوكوز د

وبعد أحد عشر عاما ، في عام ١٨٣٩ ، ضم شقان (Schwann) جميع الكائنات الحية في بوتقة مشتركة باقرار الخلية كالوحدة الاساسية للحياة. وواصل الكيميائيون ، طوال بقية القرن ، وفيما عكف البيولوجيون على دراسة تركيبة ووظيفة الخلية ، يسيطون اللثام خطوة بخطوة عن رياسة المركبات العضوية.

في عام ١٨١٢ أذهل غوستاف كيرخهوف (Gustav Kirchhoff) الكافة بتغلية النشاء العادي مع قليل من الحامض والحصول على سكر العنب (grape sugar) . كان حلاً (hydrolysed) النشاء ، أي انه صدع الارتبطة المتوازية التكافؤ (covalent bonds) مع اضافة الماء بنوع من الهضم محفز بالحامض . وبعد ذلك بسبعة أعوام قام الكيميائي الفرنسي براكونيه (Braconnet) بتغلية عدة مواد نباتية بما فيها نشارة الخشب وولد منها السكر البسيط غلوكوز (glucose) . وعلم فيما بعد ان مادة باسم خيلولوز أو سيلولوز (cellulose) ، وهي مقوم رئيس في النبات ، كانت مصدر غلوكوز براكونيه.

قام جوزيف لويس غاي لوساك (Joseph Louis Guy-Lussace) بتحري النشاء والسيلولوز والسكريات المختلفة ووجد عند تحليلها ان كلا منها أعطى ذرة كربون واحدة لكل ذرة من الاوكسجين وذرتين من الهيدروجين . كما بدا ان هناك جزيئة ماء واحدة لكل ذرة كربون ، معطية بذلك الصيغة CH_2O لمفردات هذه المجموعة ، واستفزه هذا الوضع الى تسميتها بالكربوهيدرات (carbohydrates) أو الكربون الميه أو الميهر (hydrated carbon) .

كانت السكريات ابسط البنى الجزيئية يمكن الحصول عليها بالحلمة

(hydrolysis) ، وعند مقايضة الوزن الجزيئي للفلوكوز وجد انه يبلغ (١٨٠) أو ستة اضعاف وزن CH_2O ، والسكريات البسيطة الاخرى أعطت ايضا نفس الصيغة. ولما كان النشاء والسيلولوز أكبر بكثير وبحجم تتعذر مقايسته بأساليب تلك الايام ، فانه بدا واضحا انهما كانا متكوئين من ترابط السكريات البسيطة.

قام الكيميائي الزراعي الهولندي جيراردوس مولدر (Gerardus Mulder) بدراسة المادة الالبومينية الموجودة في المواد الغذائية ، وفي عام ١٨٥٨ باقترح من برزيلوس أطلق اصطلاح البروتين على هذه المجموعة ، وبسرعة أدرك البيولوجيون ان الجيلة الاولى (protoplasm) وهي السائل اللزج الموجود في جميع الخلايا والمعتبر أساس الحياة ، كان متألفا في معظمه من البروتين. وعند حلمة البروتينات تبين ، على نقض النتائج المستحصلة بالنسبة الى الكربوهيدرات ، ان هذه أعطت خليطا من مركبات أصفر تتضمن النيتروجين صعبة الفصل . وعند انجاز عزل الاولى من هذه السلاسل في عام ١٨٢٠ وجد انها مادة كيمياوية بلورية بيضاء وأطلق عليها اسم غلايسين (glycine) ، وهذه هي الحوامض الامينية الالفائية (alpha amino acids) متميزة باحتوائها على حامض الكاربوكسيليك (carboxylic) والمجموعة الامينية المرتبطة بنفس الذرة الكربونية كان قد اسماها برزيلوس في عام ١٨٤٨ ثم انقضى أكثر من قرن قبل التمكن من عزل وتشخيص جميع الواحد والعشرين حامضا أمينيا الموجودة عاديا في البروتينات.

بحلول عام ١٨٢٧ كان ويليام براوت (William Prout) قد نهض يقترح ان جميع المادة العضوية في المنظومات الحية كانت تتألف جوهريا من ثلاث فئات من المواد هي الكربوهيدرات ، والدهنيات ، والبروتينات ، وفيما واصل الكيميائيون استقصائها اكتشفوا ان الخاصية المميزة للنشاء والسيلولوز ،

والبروتينات هي انها من جزيئات ضخمة للغاية ، وهذه ميزتها عن المركبات اللاعضوية التي نادرا ما تجاوزت وزنا جزيئات بقدر بضع مئات، لكن مقايضة احجام هذه البوليمرات العضوية كانت بعيدة عن مقدور الاساليب المتوفرة للكيميائي اواسط القرن التاسع عشر ، انما تمكن العلماء من الوقوف على حقيقة في غاية الاهمية وهي ان الحياة كانت مشيدة من جزيئات ضخمة.

توفي برزيليوس في عام ١٨٤٨ بعدما أنجز تنظيم الكيمياء وتوجيهها في مسارها ، وبنفس الوقت قدم كيميائي فرنسي شاب باسم لويس باستور (Louis Pasteur) ورقة الى اكااديمية العلوم في باريس يعلن فيها عن اكتشاف باهر كان قد انجزه . كان قد وجد ان بعض المركبات الكيميائية تتواجد كمكوّنات يمينائية وأخرى عسراية (right-handed, left-handed) مع كوز كل منهما شبحا مرآتيا للآخر. وحامض الدردريك أو الصاموريك (tartaric acid) الذي كان يظهر في طرائق صناعية معينة ، وجد بأنه يضم نفس التركيبة كالحامض الارومي (native acid) الناتج عن تخمر العنب ولكنه اختلف عنه بخاصية واحدة فقط وهي انه عند النظر الى حامض الصاموريك الطبيعي من مكشاف استقطابي (polaroscope) أعطى هذا الحامض دورة (rotation) لحزمة من الضوء المستقطب (beam of polarised light) بينما الحامض الاصطناعي (synthetic acid) اخفق في فعل هذا.

درس باستور بلورات حامض الصاموريك الاصطناعي تحت المجهر واكتشف شكلين بلورين كلاهما شبح مرآتي للآخر ، وبفصل البلورات بتأن وعناية بالغة بالملقطة أو الجفط وجد ان الشكلين كانا ظاهرتين متعاكستين على الضوء المستقطب ، فاستبنت ان ذلك كان ناجما عن عدم التماثل الجزيئي (Molecular asymmetry) وبرهن ايضا على أن خاصية التشابه البصري

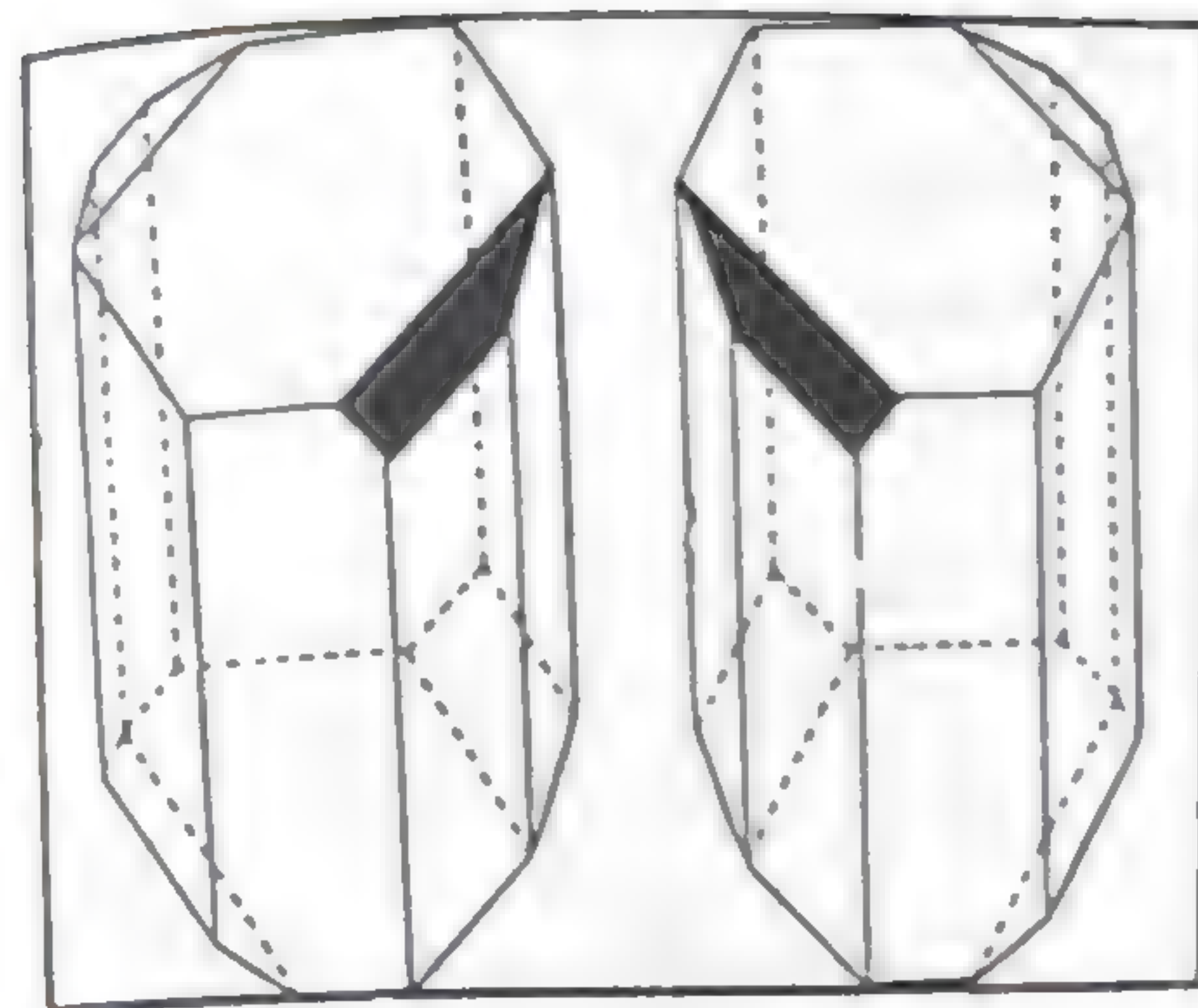
(optical isomerism) هذه، أي الحيازة على نفس الصيغة الجزيئية مع اختلاف دورة الضوء المستقطب ، تحصل في مركبات عضوية أخرى، انما يوجد فقط شكل واحد للمنتجات الطبيعية . وقد تم انتاج كلا الشكلين في التمثيل الكيميائي بنسب متساوية بحيث ان المادة لم تظهر أي تدوير للضوء المستقطب. ولما كان يوجد شكل متساوي الاجزاء (isomeric) واحد في الطبيعة . استنتج باستور ان المتعضيات كانت اتقائية السلوك نحو المتشاكلان او المتماثلات (isomers)، وهذه المعلومة هيأته لاكتشاف آخر.

حتى زمن باستور ، لم تكن الخميرة (yeast) تعتبر متعضية مجهرية وانما مجرد عامل مخفز (catalyst) عضوي يساعد على تخمير الخبز وتخمر عصير الفواكه. وعندما طلبت منه صناعة الخمر أو النبيذ استقصاء مشكلة تردى منتوجاتها قام باستور بدراسة التخمر (fermentation) وحسب بصواب أن تحويل السكر الى كحول كان نتيجة نشاط بيولوجي لمتعضية حية هي الخميرة (yeast) ، وخلص زيادة على ذلك الى القول انه توجد متعضية مجهرية نوعية معينة تسبب في تخمر العصير وتفسد الحليب (أي تخمضه) وتخمخ أو اتان اللحم. وبفضل انجازاته المعلقة في البيولوجيا المجهرية ، حقق باستور تفهما أفضل للحياة في المستوى المجهرى. وبالتجربة البسيطة برهن على ان كل جرثومة أو ميكروبة مشتقة من ميكروبة حية سبقتها في الوجود وبذلك منح حتى المتعضيات المجهرية اسلافا سلالية وفي النهاية الفى فكرة التولد التلقائي.

دخلت كيمياء المركبات العضوية عصرها الثاني في عام ١٨٥٨ مع ولادة النظرية البنوية (structural theory) • وبهذا الوقت كانت الصعوبة تشتد بتزايد في مطابقة كل هذه الصيغ الجزيئية (molecular formulas) لهذا العدد المتنامي من المركبات العضوية • قام أوغست كيكولة (August Kekulé) بدراسة هذه المشكلة وبرهن على أن الكربون رباعي التكافؤ (tetravalent)، أي ما معناه أن الكربون يشكل أربعة اربطة كيميائية مع الذرات المتجاورة لها، لكن الأهم من ذلك هو إدراكه أن بوسع الكربون أن يرتبط ليس فقط مع عناصر أخرى وإنما أيضا مع ذرات كربونية أخرى مؤديا إلى سلاسل طويلة تسمى بالسلاسل الأليفاتية (aliphatic series)، وفي وقت لاحق طرح نظرية السلاسل العطرية أو الأروماتية (aromatic series) المتألفة من جزيئات تتضمن حلقة البنزين (benzene ring) •

تمت إضافة بعد آخر في عام ١٨٧٤ عندما اقترح ياكوبوس فانت هوف (Jacobus vant Hoff) وجوزيف ليبيل (Joseph Le Bel) أن اربطة الكربون الرباعية التكافؤ كانت موجهة نحو الزوايا الأربع للرباعي الأسطح (tetrahedron) مع الكربون في المركز. أصبحت بنية أو رابطة (architecture) المركبات العضوية ثلاثية الأبعاد • ورغم أن تشيل اربطة الكربون كصورة مستوية موجهة إلى زوايا قائمة قد استبقيت بدافع السهولة فإنه كان قد أدرك أن الأربطة الموجهة إلى زوايا رباعي الأسطح أعطت تنديدا حيزيا للمواد العضوية.

في عام ١٨٧٥ نجح أميل فيشر (Emil Fischer) الذي كان أحد تلاميذ كيكولة في البرهنة على البنية الثلاثية الأبعاد للمساكر وثبت صيغ بنيتها بالتشيل (synthesis) وهي في العموم الإثبات الختامي على صحة صيغها. ولما كان النشاء غلوكوزا مربوطا معا في بوليمر فقد تم الإقرار بأن بنيته هي كالآتي:



الشكل ٢/٧ - دسمان بلورات حامض الصاموريك يوضحان الشبحين المرآتين
إيسومرين اللامتناظرين •



فقد كان يوجد صنفان اساسيان من جزئة النشا هما البوليمر الطولي او الخطي (linear) والبوليمر المتفرع، وعندما تم الثبت في النهاية من الاوزان الجزئية وجد ان البوليمر الطولي يتباين في الحجم من مائة (100) وحدة الى الف (1000) وحدة غلوكونية.

كانت ربازة المواد الممزولة من النباتات والحيوانات الاكبر حجما والاكثر تعقيدا التي واجهها الكيميائيون مطلقا، وتبين ان قوى التمثيل الكيميائي التي تمارسها المنظومات الحية هي فعلا باهرة وحتى رهيبه. فقد انتجت المتعضيات منتجات طبيعية من احجام هائلة وتعقيد متناه ومثير مثل اليخضور او الكلوروفيل ($C_{55}H_{72}MgN_4O_5$ chlorophyll) والهيموغلوبين (hemoglobin) $(C_{728}H_{1168}FeN_{202}S_2)_4$ ، وذلك بسهولة تتجاوز الى اللامعقول ، ينما لتثيل او تركيب (synthesis) حتى ابسط المركبات في المختبر يضطر الكيميائي الى استخدام درجات حرارة عالية وعوامل شديدة التفاعل للغاية ليحصل في الصوم فقط على مردود منخفض من المنتج المنشود . اذن، كيف كان ذلك ممكنا بالنسبة الى المنظومة البيولوجية؟

ظل الجدل محتدما طوال اكثر من خمسين عاما خلال النصف الاخير من القرن التاسع عشر بين اصحاب المذهب الحيوي واصحاب المذهب الآلي او الميكانيكي، واصر الحيويون على ان التفاعلات البيولوجية ممكنة فقط بفعل المنظومات الحية ينما اعتقد الميكانيكيون ان العمليات البيولوجية جاءت نتيجة للتفاعلات الكيميائية ، رغم انها كانت معقدة للغاية ، انما مع ذلك كانت مركبات كيميائية.

عودة الى اعوام 1830 كان الناس قد درسوا العملية الهضمية واكتشفوا وجود حامض الهيدروكلوريك في مستخرجات من المعدة ، ولما كانت حلماة



الكربوهيدرات والبروتينات بالحوامض معروفة فانه بدا واضحا ان هذه هي عملية الهضم . ثم في عام 1835 قام ثيودور شفان بعزل مسحوق عضوي من السوائل المعدية لم يكن حامضا ولكنه مع ذلك كان نشيطا جدا في تجزئة او تكسير اللحوم، فاطلق عليه اسم پيسين pepsin = الهضمين ، وهي مشتقة الكلمة اليونانية الدالة على الهضم) كما تم العثور على محفزات عضوية اخرى ايضا. وفي عام 1833 تمكن بين (Payen) وپرسوز (Persoz) من عزل الدياتاز (diastase) من شعير الملت (Malt) الذي موه او حلما النشا الى سكر ، واعلن يوستوس فون ليبج (Justus Von Liebig) وفريدريش فولر (Friedrich Wohler) في عام 1837 عن استخراج المتحللين او الايمالسين (emulsin) من اللوز المر، واستخرج دوترونتاوت (Dunfrunfaut) محفزا عضويا من الخميرة التي تجرد السوكروز (sucrose) وتحيله الى سكاكر بسيطة كالفلوكون والفروكتوز (glucose and fructose) . لكن لما كان كل من هذه المحفزات العضوية يسفر عن الحلماة فقد اعتبرها الحيويون كموامل هضم، وهي عملية يمكن ان تتم خارج الجسم، واصرروا في جدلهم على ان تحويل مركب عضوي الى آخر بالطريقة التي تغير الخميرة بها السكر الى كحول يتطلب متعضية حية.

وفي عام 1897 حاول ادوارد بوختر (Eduard Büchner) وهو كيميائي االماني، تحليل عملية التخمر الكحولي هذه . قام بطحن خلايا الخميرة بالرمل الى ان تفتت كلها، ثم ازال الرمل والحطام الخلوي منها بالترشيح. وعندما اضاف بوختر السكر الى الرشحة التي كانت الآن خالية من كل خلايا خميرية، بدأ تخمر سريع على الفور ، وثبت له ان التخمر لم يحتاج الى الخلية ، فان التفاعل البيولوجي كان يتم ليس بالمتعضية الحية وانما بمادة ما مستخرجة من الخلية . وادرك بوختر ان التخمر لم يكن عملية فزيولوجية (physiological)



وانا تفاعلا كيميائيا تحفزه انزيمية ، وأطلق على هذه الانزيمية اسم الزيماساز (zymase) .

فلماذا نجحت تجربة بوخنر حيث اخفقت غيرها؟ والجواب على ذلك يكمن في ان الانزيمات (enzymes) هي بنى هزيلة ، ففي السابق كانت الطريقة المستخدمة لقتل خلايا الخميرة دائما تحطم ايضا التضاريس الهشة لجزيئات الانزيمية . اثبت اكتشاف بوخنر ان العمليات البيولوجية التي تقوم بها المتعضيات هي بالفعل تفاعلات كيميائية تحفزها مكونات عضوية تسمى انزيمات يمكن تقصيدها منفصلا بدون الخلية . وادرك بسرعة ان الهضمين والمستحلبين والدياستاز والاثرتاز (invertase) كانت ايضا يومحفزات أو محفزات حية (biocatalysts) تنتمي الى صنف الانزيمية . غير انه لم يكن يعلم الكثير آنذاك عن التركيبة الكيميائية للانزيمية ولا عن طريقة فعلها ما عدا انها كانت ضخمة جدا وغير مستقرة (unstable) .

كانت ملاقات أحجام جزيئية أكبر من أن تخضع للمقايضة دائما عقبة مزعجة ومشكلة لدراسة المواد البيولوجية ، فانه بدون أي تقدير ثابت للحجم الجزيئي بقي شبح النشآت والبروتينات والانزيمات غامضا مبهما ومجهولا . بدأ تحقيق التقدم في مجال مقايضة الاوزان الجزيئية الكبرى في عام ١٨٧٧ عندما حاول الخبير الألماني فيلهلم بيفنر (Wilhelm Pfeffer) استخدام أسلوب كان قد اكتشفه توماس جراهام (Thomas Graham) في اسكوتلندة قبل ذلك بسبعين سنة خلت . فقد كان جراهام قد علم ان صفيحة المهرق (parchment) الرقيقة بين محلول ملح من البروتين والماء النقي تتيح للملح الترشح من خلال مساماتها ولكنها تحجب البروتين لكون هذا ضخما للغاية . في الواقع تمر ايونات (ions) الملح وجزيئات الماء الصغيرة بطلاقة الى ان

يتم التعادل بعدد متساو منها في كل من الجانبين . لكن اذا تضمن أحد الجانبين مادة مثل البروتين التي هي أكبر من أن تمر من خلال الغشاء شبه المرشح فانه عند التعادل للماء يزداد حجم أو كمية محلول البروتين لأن حجم وحدة من محلول البروتين يتضمن بالاساس ماء أقل من حجم وحدة من الماء . فسميت هذه الزيادة في الحجم أو الكمية بالضغط التناضحي (osmotic pressure) . ان ما ادركه بيفنر كان ان الضغط التناضحي يتوقف على عدد جزيئات البروتين ، ولما كان العدد في العينة الموزونة يعتمد على الحجم الجزيئي فان الضغط التناضحي ينتمي الى الوزن الجزيئي . جرى تهذيب هذه الطريقة في وقت لاحق من قبل خبير الكيمياء الفيزيائية الهولندي فانت هوف (Van't Hoff) . لقد كانت الصعوبة تكمن في كيفية رسم علاقة تناسبية موثوقة بين الضغط التناضحي الذي تظهر قراءته في التجربة وبين بعض الاوزان الجزيئية المعلومة . وبعد التثبت من صحة معايرة الاسلوب تسنى مقايضة الضغط التناضحي لعينة موزونة من أي بروتين واحتساب وزنها الجزيئي .

لقد تبين ان الاحجام الجزيئية للبروتينات كانت ضخمة ، ووجد ان زلال او البومين البيض (egg albumin) يبلغ (٣٤٠٠٠)، والهيموغلوبين (٦٧٠٠٠)، وبضعة من البروتينات كانت دون العشرة آلاف (١٠ ٠٠٠)، والعديدة منها كانت أكبر من مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) وهو المدى الاعلى لأسلوب المقايضة . ومعنى هذا ان البومين البيض كان يور بوليمرا (biopolymer) يتضمن حوالي ثلاثمائة (٣٠٠) حامض اميني، والهيموغلوبين يوبوليمرا ذي أكثر من ذلك العدد . وعندما جاء الفرز المركزي الفائق السرعة (ultracentrifuge) ليلفي ويحل محل الضغط التناضحي في القرن العشرين كوسيلة للتحقق من الاوزان الجزيئية جاءت البروتينات الاكبر من مائة ألف (١٠٠ ٠٠٠) ضمن نطاق

المقايمة . لكن امكانية ابتداء معرفة ترتيب السياق لجميع الحوامض الامينية والشكل الكامل مثل هذه البنى العملاقة بدت بعيدة.

كانت الانزيمات سر الحياة المحيرة، فلم يكن يعلم أي شيء عن طبيعتها الكيميائية ولا عن طريقة فعلها ، ولما كانت الانزيمات محفزات مكنة للغاية فان مقادير دقيقة منها كانت كافية لتحفيز التحويلات الكيميائية النوعية ، وبالنتيجة فان مقايمة ناتج الفعل الانزيمي كان أكثر سهولة من اكتشاف الانزيم بذاتها. اذ انه بوسع بعض الانزيمات ، مثل الانهيدراز الكربونية (carbonic anhydrase) التي تنزع الماء من حامض الكربونيك ، أن تقوم بتحويل أكثر من مليون جزيئة بالدقيقة الواحدة مقابل كل جزيئة من الانزيم. لقد استلزم تحليل تركيز الانزيم تهيئة كمية قابلة للقياس من عينة منقاة وكان ذلك مستوى من الاعداد صعب التحقيق بالاساليب المخبرية المتوفرة عند منقلب القرن، انما الامر الذي كان معلوما هو ان الانزيمات كانت غير مستقرة للغاية وتفقد انشطتها بسرعة اذا جرى تسخينها الى مجرد (56°) مئوية ، أي لا أكثر من تسع عشرة درجة فوق درجة حرارة الجسم . كانت هذه ظاهرة مواربة للغاية وشبيهة بأمر البروتينات ، ولهذا بدأ العديد من الكيميائيين بالاعتقاد أن الانزيمات كان في الحقيقة بروتينات تملك خواص التحفيز.

واستر الجدل يعصف تارة لصالح هذه النظرية وأخرى ضدها طوال عقدين من السنين دون أن يتمكن أي من الجانبين تجميع قدر واف من البيانات لحسم النزاع . ثم في عام 1920 قام ريتشارد فيلستيتز (Richard Willstätter) ، وهو كيميائي ألماني شهير وفائز بجائزة نوبل بدراسة المشكلة . قام بتصفية عينة من الانزيمات بعناية بالغة الى أن اقتنع بنقاقتها تماما من جميع الشوائب، ووجد ان المحلول الصافي كان لا يزال يحتفظ بالنشاط الانزيمي بالرغم من انه لم يجد أي أثر للبروتين . وبناء على ثقته من النتائج المستحصلة

أعلن فيلستيتز للعالم العلمي انه كان موقنا تمام اليقين ان الانزيمات لم تكن بروتينات ، لكنه كان مخطئا . لقد فات فيلستيتز أن يدرك أن بوسع الانزيمات ابتداء نشاطها في مستويات تركيزية أقل بكثير من المقادير المطلوبة لاكتشاف البروتينات بالاساليب المعروفة آنذاك .

ثم في عام 1926 قام أحد اساتذة الكيمياء الحيوية من جامعة كورنيل بأجراء تجربة بسيطة الى حد اللامعقول أدت الى قلب العديد من المعتقدات الراسخة . فقد كان جيمز سامنر (James B. Sumner) يعمل منذ تسع سنوات جاهدا لعزل يورياز الانزيم (enzyme urease) من الفاصوليا المتسلقة (jack beans) . كان لغز المشكلة ايجاد الوسيلة المناسبة لأجراء ترسيب انتقائي لليورياز من مستخرج خام لعزل ناتج صاف . وفي أحد الايام فيما كان سامنر يتبع اقتراح من أستاذه السابق بجامعة هارفارد لجأ الى استخدام الايتون (acetone) لاستخراج المسحوق أو الدقيق من الفاصوليا . بعد ترك المحلول ليترشح طوال الليل قام بفحص قطرة من الرشيع تحت المجهر وشاهد بلورات دقيقة ثمانية السطوح لم يكن قد رأى مثلها قبلا قط، فجمع هذه البلورات بواسطة جهاز الفرز (centrifugation) المركزي، ثم اذابها وفحص المحلول الذي كشف عن نشاط يوريازي شديد . وابانت الاختبارات اللاحقة ان البلورات كانت بروتينا ذا وزن جزيئي يبلغ (483000) . وبذلك لم يكن سامنر قد أثبت ان الانزيم كانت بروتينا فحسب، بل كان بالفعل قد قام ببلورته . فالمواد التي تحفز عمليات الحياة الاساسية كانت مركبات بطريقة الكيماءات العادية^(١).

الفصل الثامن

الاساس الجزيئي للحياة

ان الصفة المذهلة في الكائنات الحية هي تمكنها من التناسخ طبق الاصل جيلا بعد جيل باستمرار، وهذا يحتم الاستنتاج ان لابد للتعويضات في تركيبها وسيلة ما لحفظ وتخليف خزين من المعلومات هو ميراثها من الاجيال السابقة . وهذه المعلومات تتضمن التعليمات اللازمة لتثيل المتعضية كاملة مع جميع مكوناتها .

لقد ادرك الانسان منذ عصور ما قبل التاريخ ان الوراثة قدرة تكمن في الخواص الجسدية للنبات والحيوان . لكن مكنون آليتها بقي مجهولا غامضا عبر القرون، ولم يتم اجراء اية دراسة علمية للوراثة حتى اواسط القرن الماضي . ففي عام ١٨٥٦ قام راهب اغسطيني باسم جريجور مينديل (Gregor Mendel) كان يربي انواعا مختلفة من البزاليا العادية في حدائق الدير في برون (Brunn الآن Brno) في مورافيا Moravia الآن في تشيكوسلوفاكيا) باجراء التجارب على مهاجنة هذه الانواع وملاحظة انتقال الخواص والخلال المختلفة فيها الى الجيل الاول والثاني والاجيال اللاحقة . وبعد عشر سنوات ، في عام ١٨٦٦، نشر مينديل قواعد احصائية حول الوراثة في نشرة اتحاد البحوث الطبيعية في برون . لم تلق هذه الورقة اهتماما يذكر في حينها وطواها غبار النسيان ، لكن لمجرد أن يعاد اكتشافها في عام ١٩٠٠، عندما قام ثلاثة خبراء نباتيين اوروبيين هم كارل اريخ كورنز (Carl Erich Correns) من برلين واريخ تشرماك فون سايسنغ (Erich Tschermak Von Seysenegg) من فينا وهوغو دفرس (Hugo De Vries) من لايدن بهولندا في آن واحد

وعلى اتصال بالاعلان عن نتائج ماثلة لتأثيرات مينديل انما لمجرد ان يجدوا ان الياقات التجريبية والنظرية الخاصة بها كانت قد نشرت قبل عام من ذلك التاريخ.

استمرت المناقشات المعنى حول النشوء باهتمام بالغ طوال النصف الثاني من القرن التاسع عشر وامتدت الى القرن العشرين ، ولتفسير نظرية داروين (Darwin) قام البيولوجيون بطرح الرأي ان الخواص البيولوجية تورثها عوامل بدنية تنقل عبر الاجيال المتعاقبة، وهنا قام البيولوجي الانكليزي ويليام يتسون (William Bateson) بتسمية هذا الفرع من البيولوجيا او علم الاحياء باسم علم التكوين او علم الوراثة (genesis) في عام ١٩٠٦، وذلك اشتقاقا من كلمة التكوين (genes)، وفي اشتقاق رجوعي غريب صار يطلق على عوامل الوراثة (inheritance factors) اسم الجينات (genes) لكن ما هي الطبيعة الكيميائية الحقيقية للجينة؟

كان قد جرى عزل المادة او المكون الجيني (genetic substance) من نوى الخلايا بما يقرب من سبعين (٧٠) عاما قبل ادراك مغزاه البيولوجي الحقيقي. ففي عام ١٨٦٨ قام الشاب السويسري المدرب على الطب بالتوجه الى مدينة توبنجن (Tubingen) بالمانيا قادما من مدينة بازل (Basel) على الحدود الفرنسية الالمانية السويسرية . وفي الرابعة والعشرين من عمره كان لتوهم قد اكمل الامتحان لنيل الدكتوراه ، وقد جاء الى المانيا للعمل لدى ارنست هوبه سايلر (Ernst Hoppe-Seyler) الكيميائي الفسيولوجي الالمانى العظيم . كان الخريف قد حل قبل ان يبدأ ميشر ببحوثه العليا ما بعد الدكتوراه، الا انه بحلول شباط ١٨٦٩ كتب الى استاذ السابق بسويسرا يخبره عن عزل مادة جديدة من نوى الخلايا.

لم يكن يعرف الكثير عن نواة الخلية في هذا الزمن ، أما وظيفة المادة الخلوية فقد كانت مجهولة كليا تقريبا . في اول الامر كان ميشر قد اتوى مواصلة بحوثه في خلايا اللمف (Lymph Cells) لكن محدودية توفرها اضطرته الى استعمال خلايا القيح (pus cells) التي استخرجها من الضادات الجراحية. قام اولاف نيل هذه الخلايا بحلول كبريتات الصوديوم (sodium sulfate solution) ثم بترشيحها ومعالجتها بالقلوي (Alkali) لتنظيفها وازالة ما قد علق بها من شحوم وحامض الكربوليك (carbolic acid) . بعد ذلك قام ميشر بترجيح فتيست الخلايا بعنف لفترة طويلة في خليط من الايثر (ether) وحامض الهيدروكليك المخفف للغاية ، واما ان ذابت الدهون ومنتوجات التفسخ والحطام في الايثر او انها احتبست في الفاصل البيني للسوائل غير القابلة للامتزاج، واستقرت النوى الاكثف قليلا ببطء وتساقطت الى قاع الطبقة المائية كرواسب دقيقة ضاربة الى البياض^(١).

تضمنت مادة ميشر المستخرجة من نوى القيح، والتي اسماها بالنووين (nuclein) نسبة كبيرة من الفوسفور (phosphorus) . وحتى هذا الوقت كان الليسيثين (lecithin) الناتج الطبيعي الوحيد المعروف الذي يحتوي على الفوسفور . كان النووين (nuclein) عقدة او مشبوكة (complex) ، وذلك لتمييزه عن المركب (compound) من البروتين وحامض النوويك ، لكن اجراءات التنقية اللاحقة افضت الى انفصال حامض النوويك ككتلة من مادة شبه خيطية ليفية طويلة يمكن تجعيمها من المادة المترسبة بلفها على طرف قضيب زجاجي . على ما يظهر ان ميشر، بدون معرفة الطبيعة البنيوية لنووينته (nuclein) ، كان قد أدرك ان لهذه صلة ما بالوظيفة الوراثية او الجينية. وبقي الامر على هذا الوضع حتى عام ١٩٤٤ حين اثبتت تجربة قام بها أوتو تي

ايفري^(٢) (O.T. Avery) أن الشاب السويسري كان قد عزل مادة هي الأساس الكيميائي للخواص الوراثية لجميع الكائنات الحية، ألا وهي حامض النويك (nucleic acid)*

جاء مستحضر مباشر من النويك بعشرة أعوام بعدما قام داروين بنشر مؤلفه: «حول أصل الأنواع»، وبحلول عام ١٨٨٠ كان قد تم التثبت من عملية الانقسام الفتيلي (mitotic process) وإقرارها، واكتشف البيولوجيون العاملون بالمجهر الضوئي أن جميع الخلايا تتضمن مادة نووية بعدد معين من وحدات شبه قضيبية أو خيطية تسمى بالكروموسومات أو الصبغوسومات (chromosomes) • والصبغوسومات هي الحاملات لعوامل وراثية نوعية تسمى بالجينات (genes)، وكشفت الدراسات المجهرية التفصيلية طريقة تناسخها في التكاثر الخلوي • وعند عزلها وتحليلها وجد أن هذه الصبغوسومات تتضمن البروتين وحامض النويك بنسب متساوية تقريبا.

إن حامض النويك هو المادة البوليمرية الحاوية للفوسفور والموجودة في النويك الذي كان مباشر قد عزله من خلايا القيح في عام ١٨٦٨ • واكتشف الكيميائي الألماني البريخت كوسل (Albrecht Kossel) في جامعة هايدلبرغ أثناء عمله على حامض النويك المأخوذ من الغدد الدرقية (thymus glands) للمجول أن هذا الحامض يتضمن قواعد (bases) نيتروجينية تسمى بالبيورينات purines = مركب عضوي بلوري عديم اللون $C_5H_4N_4$ ، المادة المولدة لمجموعة مركبات حامض اليوريك (uric acid) • وبالبيرميدينات (Pyrimidines = مركب عضوي بلوري سائل عديم اللون $C_4H_4N_2$ والشكل الجوهري لعدد من القواعد (bases) بعضها هي مكونات أو مقومات حامض النويك)، وقام بعزل وتشخيص مشتقات من كل من هاتين القاعدتين. ولما كان حامض

النويك بوليمرا يتألف من أربعة أنواع من الوحدات الفرعية فقط (subunits) فإنه بدأ، مثل النشاء، أنه يتكون من جزيئة سلسلية رتبية طويلة.

خلال العقود القلائل الأولى من هذا القرن وفيما كان البيولوجيون يعملون على توسيع علم التكوين أو الوراثة بتوضيح العلاقة الرياضية (mathematical relation) للوراثة البيولوجية، أحرز الكيميائيون نجاحا كبيرا في إيضاح دور الانزيمات في التحكم بالعمليات الحياتية • لم يملك أي من الفريقين أية دراية جلية بالطبيعة الكيميائية للجينة ولا بكيفية صنع الانزيمات • ثم في السنوات الثلاثينية من هذا القرن قام الخيران التاسليان الأمريكيان (geneticists) جورج بيدل (George Beadle) وادوارد تيتسم^(٣) (Edward Tatem)، اللذان كانا يعملان على الففن الأحمر المعادي للخبز (Neurospora crassa)، بربط النظريات الداروينية بالكيمياء بالتدليل على أن الانزيمات تتحكم في البنية (structure) والجينات تتحكم في الانزيمات، وأدركا أن الجينات مدونة (coded) بكيفية ما للانزيمات وطرحا وجود جينة نوعية لكل أنزيم.

إنها لبراعة باهرة حقا من الخلايا أن تقوم بمكاثرة البروتينات المحتوية على مئات الحوامض الأمينية تكرارا وتماثا بنفس السياق، ولا بد أنه تتم عملية (polymerisation) الحوامض الأمينية بالضبط بنفس الترتيب (order) في مرسومة أو قالب (template) لكي تتمكن من تمثيل البروتين مرارا وتكرارا بنفس التركيبة تماما وبمنتهى الدقة، ولا بد أن هذه المرسومات تتضمن في تركيبها المعلومات الوراثية (heredity information) •

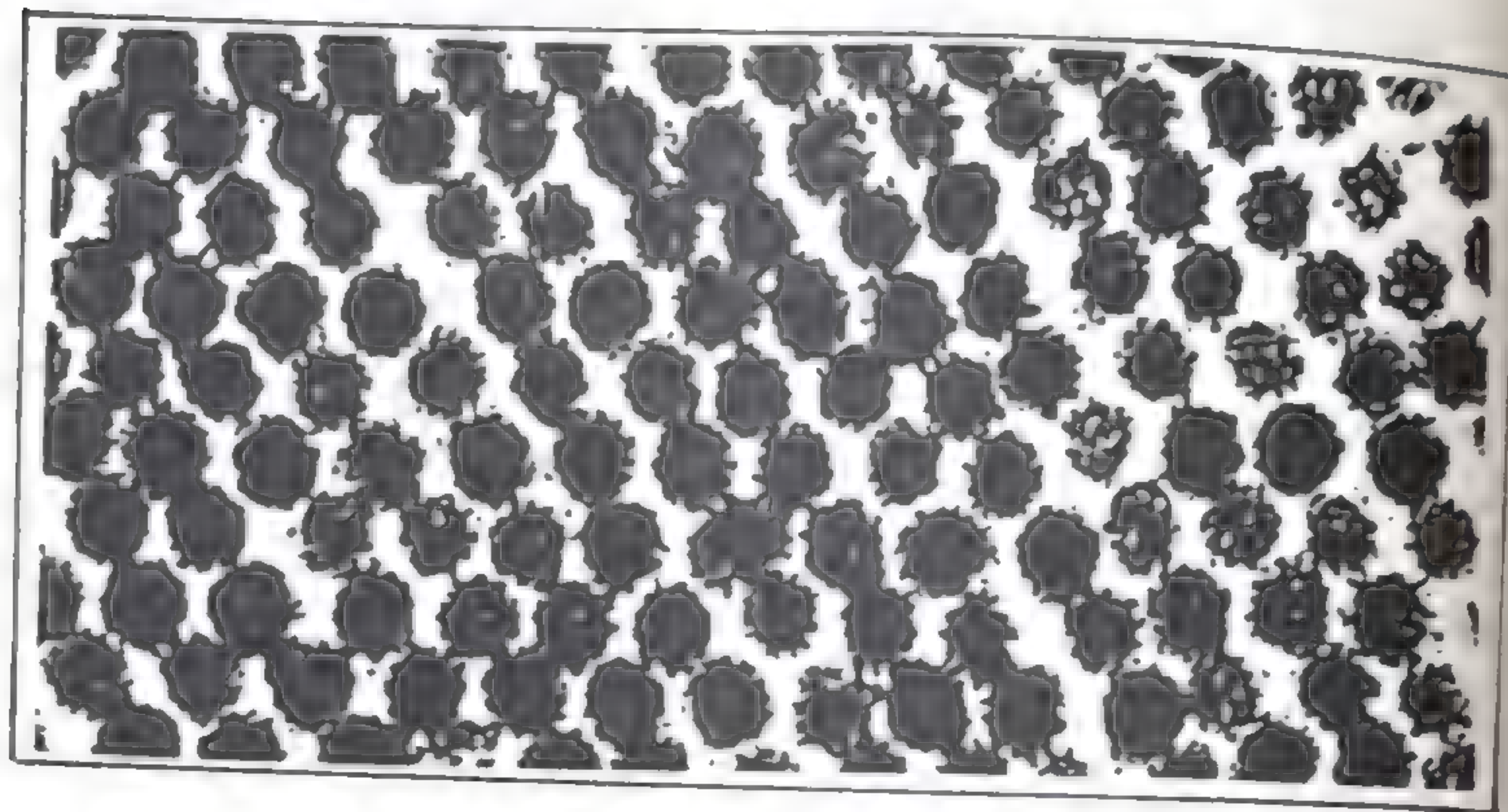
بالنظر إلى القدر الهائل من المعلومات التي تحتاج المتعضية إليه في مادتها الوراثية فقد سلم البيولوجيون في العموم بأنه سترتب على المادة التي

تصبح العامل التكويني أن تتضمن عددا كبيرا من الوحدات الفرعية لتعمل هذه كرسائل أو رموز في الدستور المعلوماتي (informational code) ، ولما كانت البروتينات تحتوي على أكثر من واحد وعشرين نوعا من الحوامض الأمينية فقد بدت هذه الجزيئات الضخمة مناسبة للغاية للقيام بهذا الدور . وطوال السنوات الثلاثينية ظل أغلب العلماء البيولوجيين والبيوكيميائيين يعتقدون أن البروتين الموجود في الصبغوسومات كان المادة التكوينية وله يعبروا حامض النوريك غير أهمية ضئيلة .

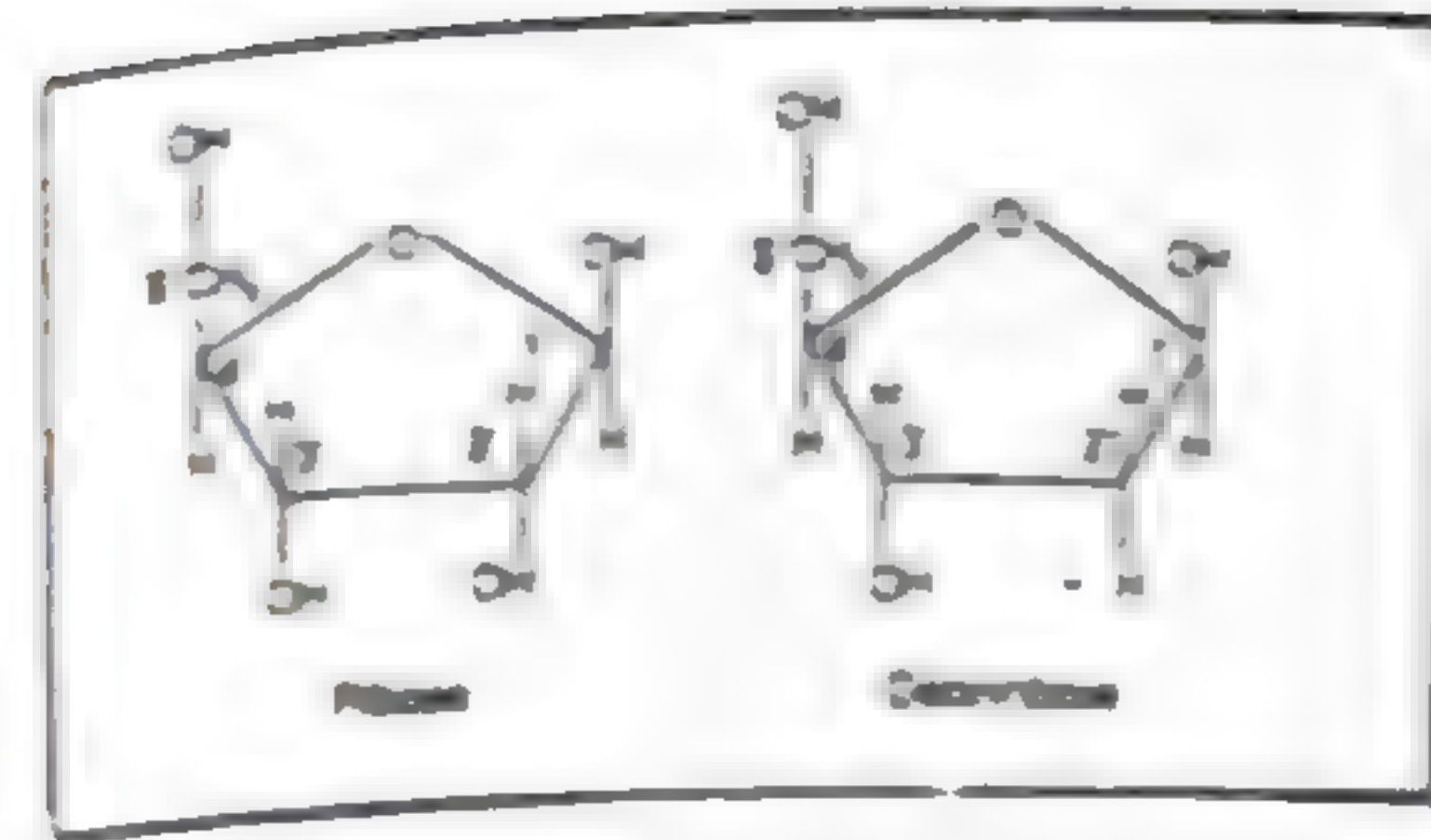
وخلال نفس العقد ، في عام ١٩٣٥ ، أجرى ويندل ستانلي (Wendel Stanley) العامل في معهد روكفيلر بنيويورك تجربة مذهلة . فقد قام ببلورة فيروس (virus) . أن الفيروسات كائنات بيولوجية تكمن في المنطقة البينية الواقعة بين الخلايا الحية والكيميائيات الجمادية ، وتتألف من البروتين وحامض النوريك بدون أية مكائن (machinery) خلوية للتكاثر والتأيض . ولما كانت الفيروسات تنقصها وسائل التوالد فانها تتواصل أو تتأبد بطريقة حشر عاملها التكويني (genetic factor) في الخلايا فتستولي على ماكينة الخلية المبرومة أو المعدومة لتقوم بإنتاج نسخ من الفيروس . لذلك ، فإن بلورة الفيروس كقدر من الملح أكد للعلماء احتمال امكانية عزل الجينات في النهاية ودراستها كمرکبات كيميائية (chemical compounds) . وبذلك تقدم اساس الحياة خطوة أقرب الى كونه مسألة كيميائية صرف .

ثم في عام ١٩٤٤ قام الفيزيائي الشهير النمساوي الولادة أرفين شرودينغر (Erwin Schrödinger) المقيم في دبلن كلاجئ من ألمانيا النازية ، بنشر كتيب صغير بعنوان « ما هي الحياة؟ » "What is Life?" وفي هذا الكتيب شدد على زملائه الفيزيائيين أن البيولوجيا كانت بلغت عتبة مسألة اساس الحياة

البالغة الخطورة وأنه يتوجب عليهم التجلد وعدم التراجع أمام صعوبة تفسير الحياة بمنطوق القوانين الفيزيائية العادية ، وأكد عليهم وجوب السعي الى ايجاد كيفية تمكنهم من تفسير البيولوجيا على المستوى الجزيئي .

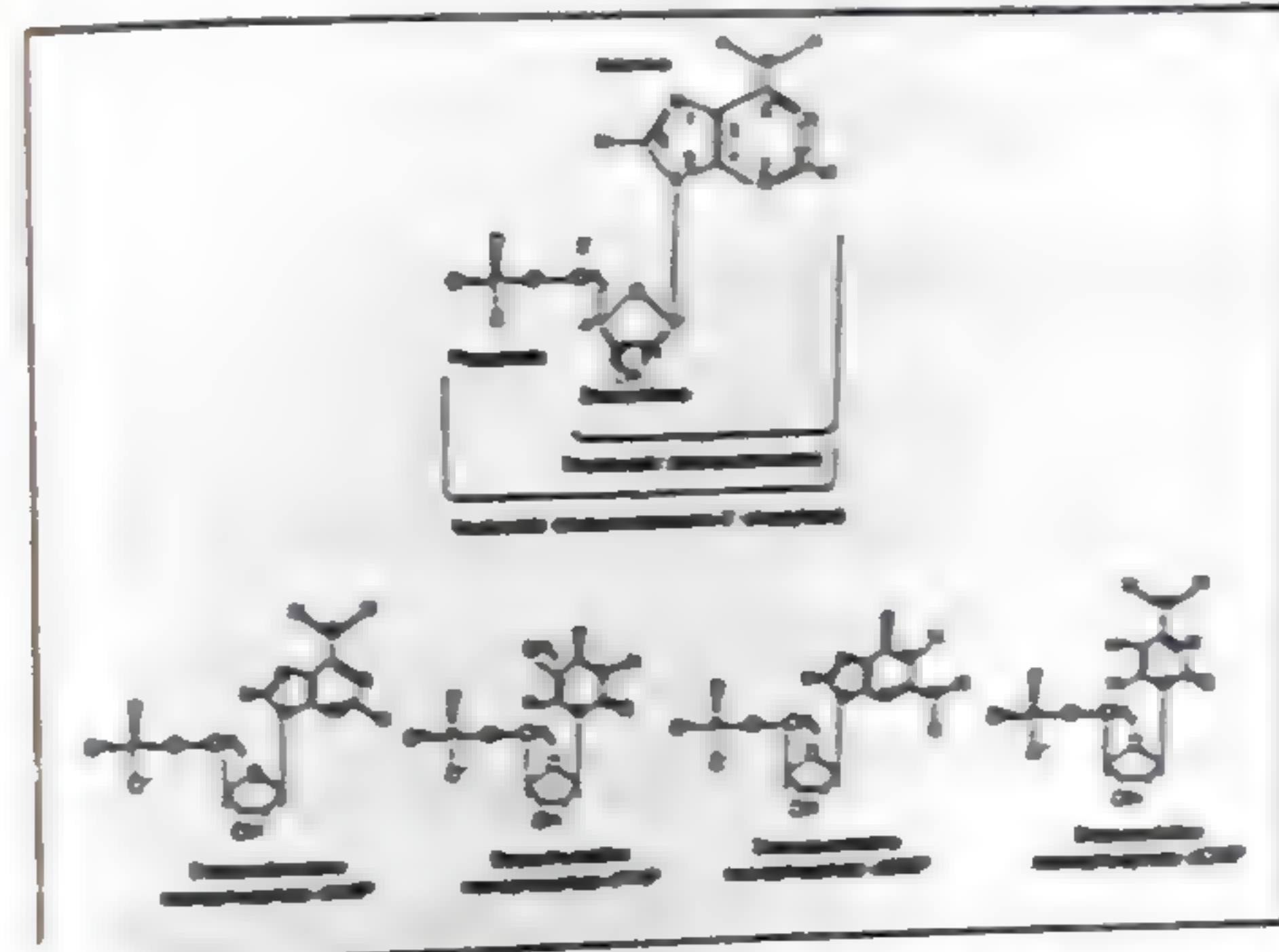


الشكل ١/٨ - صور ضوئية بالمجهر الالكتروني لفيروس التلؤلؤ البشري . والفيروس قبض (shell) عشريني الاسطح يتضمن دنا DNA . وهذا الفيروس بالذات لا غلاف له ، والصورة مكبرة مائة وعشرين (١٢٠) ألف مرة .



الشكل ٢/٨ - بنى الريبوز والديوكسي ريبوز

تتألف الوحدات البنوية لحامض النوويك من قاعدة اليورين والبيورينيد
مربوطة بذرة الكربون الطرفية (رقم ١) من السكر ويتضمن الجزء السكري
مجموعة فوسفاتية ملتصقة به. وهذه المقومات الثلاثة، أي القاعدة والسكر
والفوسفات، تشكل معا نووتيدة (nucleotide) • وعندما تنضم النووتيدات
من خلال دايستر فوسفاتي (phosphate diester) برابط (3'5'-linkage)
من سكارها فانها تخلق السلاسل الطويلة المعروفة بحوامض النوويك
(أنظر الشكل ٤/٨).



الشكل ٤/٨ - بنى النووتيدات القليلة الاوكسجين او الديوكسي نووتيدات

وسرعان ما بدا واضحا انه يوجد نوعان من حامض النوويك، ويسمى
بحامض الذي او كسي ريبونوويك deoxy ribonucleic acid المصطلح عليه
بالنوعية بالحامض الخلوي الصبغي واختصاره دنا (DNA) (أنظر الشكل ٥/٨).
والنوع الآخر من حامض النوويك ايضا يتضمن أربع قواعد ولكنه احتوى
على اليوراسيل (uracil) بدلا من الثايمين (thymine)، ولما كان سكر
اليوراسيل ريبوزا فقد أطلق عليه اسم حامض الريبونوويك ribonucleic acid
ويرمز اليه هنا باختصار رنا RNA على غرار زميله السابق ذكره.

واخيرا ادرك البيولوجيون ان النوعين من حامض النوويك، الدنا
(DNA) والرنا (RNA) لا يميزان النباتات والحيوانات بل ان كليهما موجود في
جميع الكائنات الحية، وتبين ان المبادئ التكوينية (genetic principles)
متواجدة بالاستواء في جميع أشكال الحياة، وان استمرارية المواد الحية
من خلال التكاثر مبنية على تكاثرية الجينات التي يجري نسخها ومناولتها من
جيل الى جيل، مع كون مادة التوارث هي نفسها في الفيروسات كافة والانسان
على حد سواء، وهذه المادة هي المسماة بالدنا (DNA) •

يجري استعمال فقط اربع وحدات كيميائية أساسية لخلق المطبوعة
(blueprint) في سياق مدستر (coded sequence) من الوحدات في جزيئة
معلوماتية حيث يمكن ان يستد الوزن الجزيئي الى آلاف الملايين حتى في
البكتيريا. يؤلف مقطع من الدنا جينة تحمل المعلومات لسياق الحوامض
الامينية لبروتين معين. ويمكن ان يستد عدد الجينات في البكتيريا الى
الآلاف، ولكنه يبلغ حتى المائة الف (١٠٠ ٠٠٠) في الثدييات.

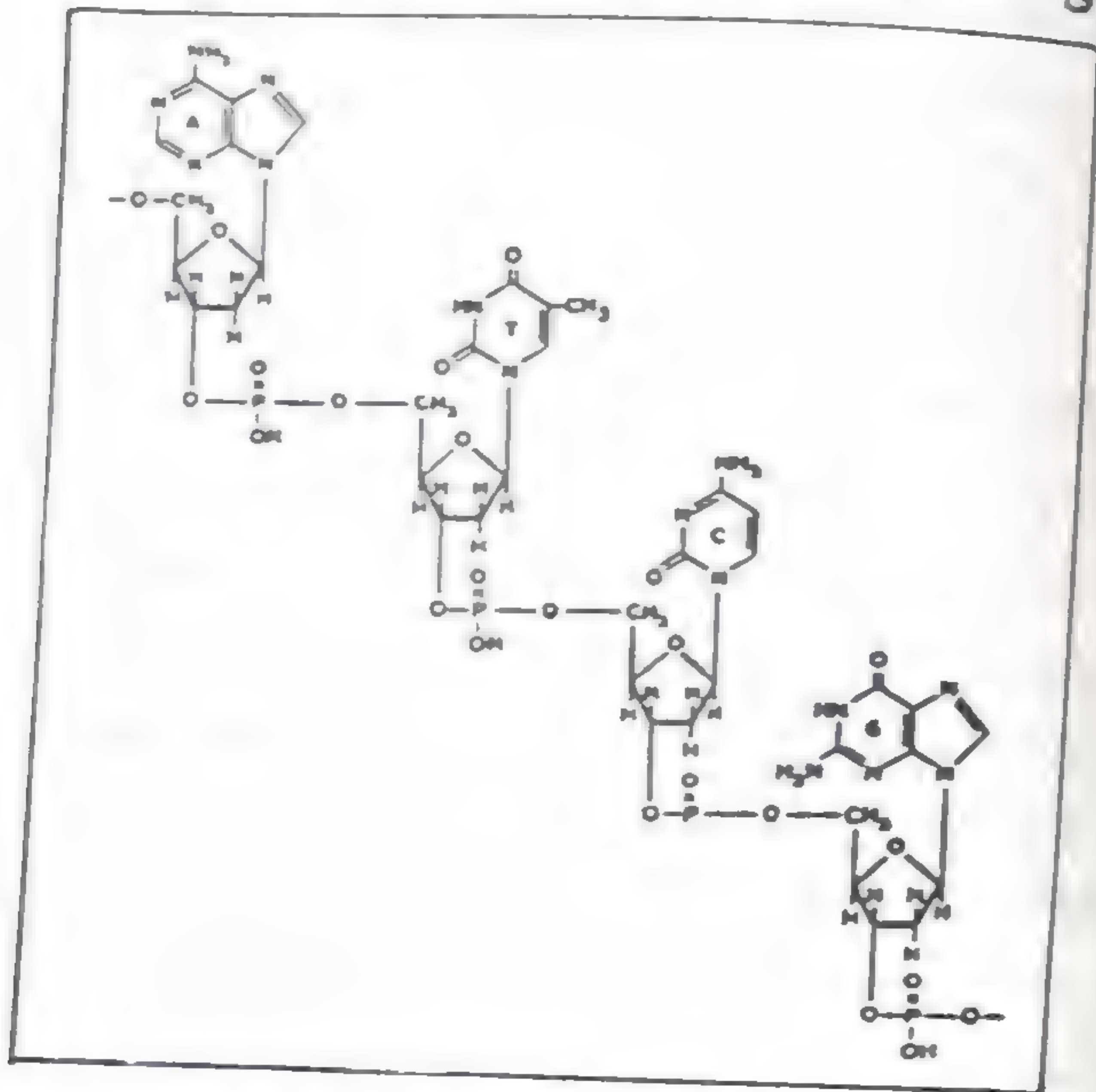
ان التكاثر الخلوي هو في النهاية تكاثر جزيئي، وتبين ان الطبيعة
الفريدة للبنية الكيميائية لحوامض النوويك تتيح لهذه البيبوليمرات لتيتم
استساخها بدقة صادقة • وفي البروكاريوت، مع الدنا المستدير فيها،

يتألف التكاثر الخلوي من تاسخ حامض النوويك متبوعا بالانشطار الثاني لخلتين إبتين تحل كل منهما الكمية التامة من المادة الخلوية . ان كيمياء هذه بسيطة ومباشرة ويجب عليها ان تمثل طريقة التاسخ المتخذة في اعتدب تشاة المتطومات الحية الاولى . اما الخلايا اليوكاروتية ، من جهة أخرى . فتتلك طرائق تكاثرية دقيقة ومحكمة لدرجة تجعل من المحتم انهم قد استغرقت زمنا طويلا جدا للتشوء .

ولكي يتسكن الدنا ان يكون المستودع المعلوماتي للخلية فانه قد تحتم تواجد طريقة كيميائية لتصنيع النسخ الجزئية . انما قبل محاولة فهم كيفية انجاز هذا استلزم الامر تحديد الترتيب البنيوية التامة والتحقق منها . ان حوامض النوويك هي بولي نووتيدات (Polynucleotides) متواجدة بشكل سلاسل طويلة غير متفرعة ، لكن فقط التضريس الثلاثي الابعاد المضبوط فيه يمكن ان يكشف عن طريقة اشتغال وظيفتها البيولوجية . وهذا أطلق البحوث للكشف عن سر رمازة الدنا (DNA Architecture) .

في عام ١٩٥٠ حقق ارون تشارغاف (Erwin Chargaff) وتلاميذه في جامعة كولامبيا اكتشاف غريبا . فقد لاحظ هؤلاء بعد تحليل تركيبة النيورين والبرسيدات في الدنا المختلفة بعناية فائقة ان عدد قواعد الادنين تقريبا دائس تساوى مع عدد الثايمينات ، وان عدد قواعد الغوانين والسيوسين ايضا كان تقريبا متساويا . وبعبارة أوضح وجدوا ان (ملاحظة: يجب قراءة المعادلات والنسخ الرياضية دائما من اليسار الى اليمين ، سواء كانت بالاعداد او الحروف) وجدوا ان $A=T$ و $G=C$ ، وكانت هذه هي الحال بالرغم من التفاوتات الكبيرة في مقادير $A=T$ بالنسبة الى $G=C$ في الدنا المختلفة . وفيما كان مختبر تشارغاف يقوم بتحليل التركيبة القاعدية للدنا ، كان روزالند فرنكلين (Rosalind Franklin) وموريس ويلكنز (Maurice Wilkins)

من كلية الملك بلندن يستخدمان كريستالوغرافيا الاشعة السينية (x-ray crystallography) للحصول على بعض المقاييس الدقيقة للدنا . وفي كاليفورنيا قام لايناس بولينك (Linus Pauling) وزملاؤه^(٧) في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا بمحاولة لحل مشكلة بنية الدنا باستخدام احوال وزوايا الروابط الخاصة بالمناظرين الكميين (quantum theorists) للاعتداء بها في تشييد نماذج ذرية (atomic models) . كانت كلتا جماعتي كيميائي لندن ومعهد كاليفورنيا تميل الى الاعتقاد بان جزيئة الدنا تتفكك ثلاث سلاسل بولي نووتيدية .



الشكل ٨/٥ - جزء رباعي النووتيدية من ومن واحد من الذي ان اي يتألف من دي اوكسي نووتيدات الادنين (A) ، والثايمين (T) والسيوسين (C) والغوانين .

كانت الروابط الهيدروجينية هي قوة التجاذب الرئيسة التي يوسمها
تمسك اوهان البولي نوويد معاً. لكن الاربطة الهيدروجينية ضعيفة بالمقارنة
بالاربطة الثائية التكافؤ ، ويتطلب قوة بقدر ١٢ الى ٢٤ كيلو جول بالمولة
($\text{KJ/mole} = 1 \text{ kcal/mole}$) = (الكيلوجول الواحد = ٢٣٩ ر. كيلوسعرة او كنورى والمولة
Mole هي الجزئي الغرامى، ويرمز الى هذه لاحقاً هنا بـ كج للكيلوجول .
وكج/م للكيلوجول بالمولة.) لكسر رابط ثائي التكافؤ ، بينما تكفى مسافة
تراوح ما بين واحد الى ثلاثة (٣-١) كج/م لكسر الاربطة الهيدروجينية.
مع ذلك ، للاربطة الهيدروجينية أهمية عظمى في البيولوجيا لكونها بالامس
مسؤولة عن نوعية (specificity) التفاعلات ما بين الجزيئات الضخمة (Macromolecules)

من بين المسائل الخطيرة المخرجة حول بنية الدنا كانت هل ان القواعد
متجهة الى الخارج او الى مركز الجزيئة . اقترح بولينك انها كانت متجهة
نحو الخارج. لكن روزالد فرانكلين شعرت انها تملك الشواهد على ان
القوسفات كانت متجهة نحو الخارج وان القواعد كانت متجهة نحو المركز.

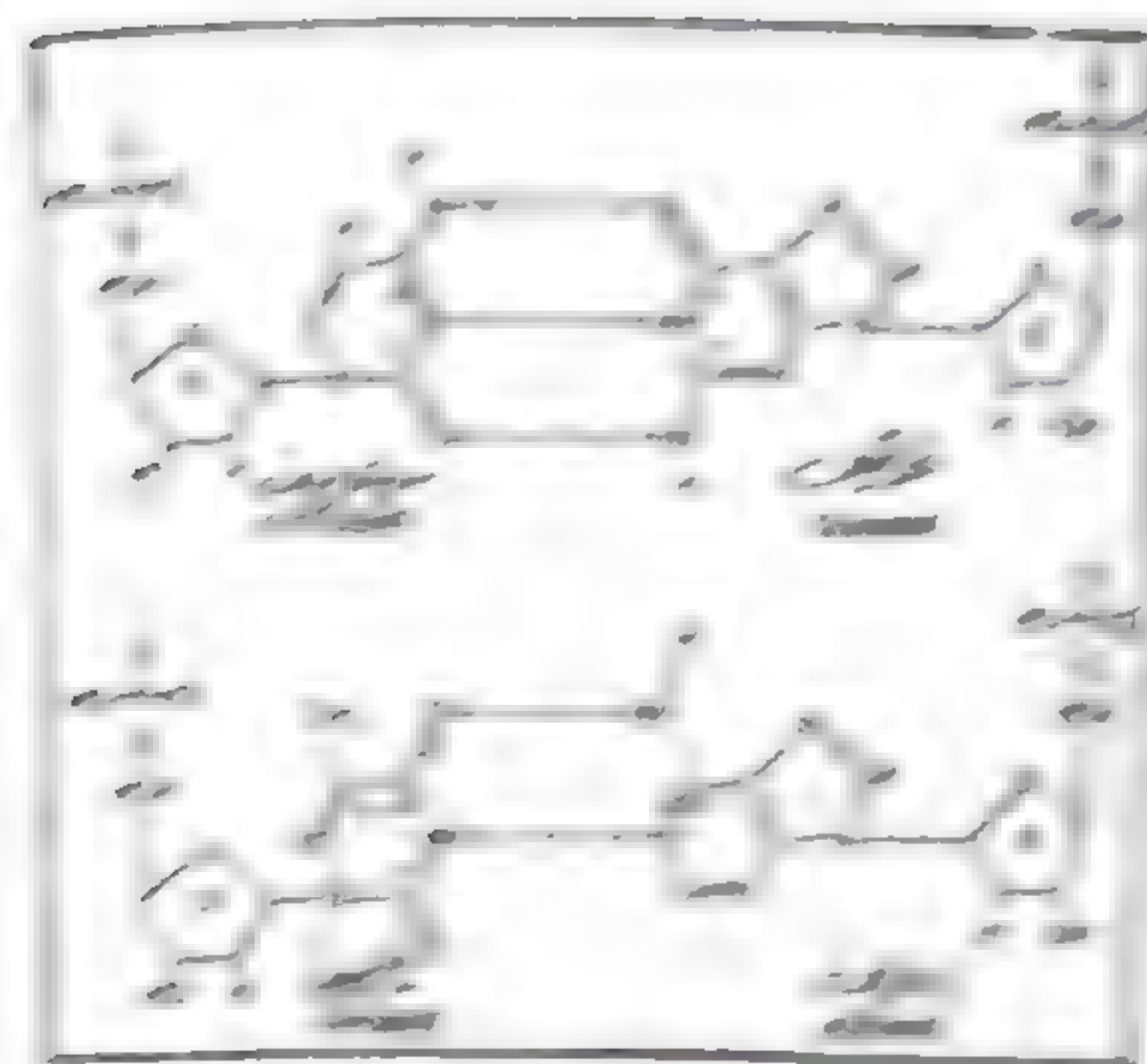
كان هذا هو الوضع القائم في عام ١٩٥١ عندما وصل جيمز واتسون
(James Watson) ، وهو زميل امريكي في الثانية والعشرين من عمره في
الدراسات العليا لما بعد الدكتوراه، وصل الى كمبرج والتقى بفرنسيس كريك
(Francis Crick) وهو فيزيائي يعمل للحصول على درجة الدكتوراه في
الفيزياء الحيوية او البيوفيزياء. ورغم ان كريك كان في الظاهر يعمل في
البحوث الخاصة بالبروتين وان واتسون كان مركزاً اهتمامه في بنية فيروس
موزاييك التبغ (Tobacco Mosaic Virus)، فان كليهما كان شديد الاهتمام
بالدنا واعتزما على التعاون معاً على حل لغز بنيت.

كشفت انماط الحيود (diffraction) للاشعة السينية لفرانكلين عن
تضرس منتظم ومتراص، وكان بولينك قد دلل على ان البنية اللولبية هي

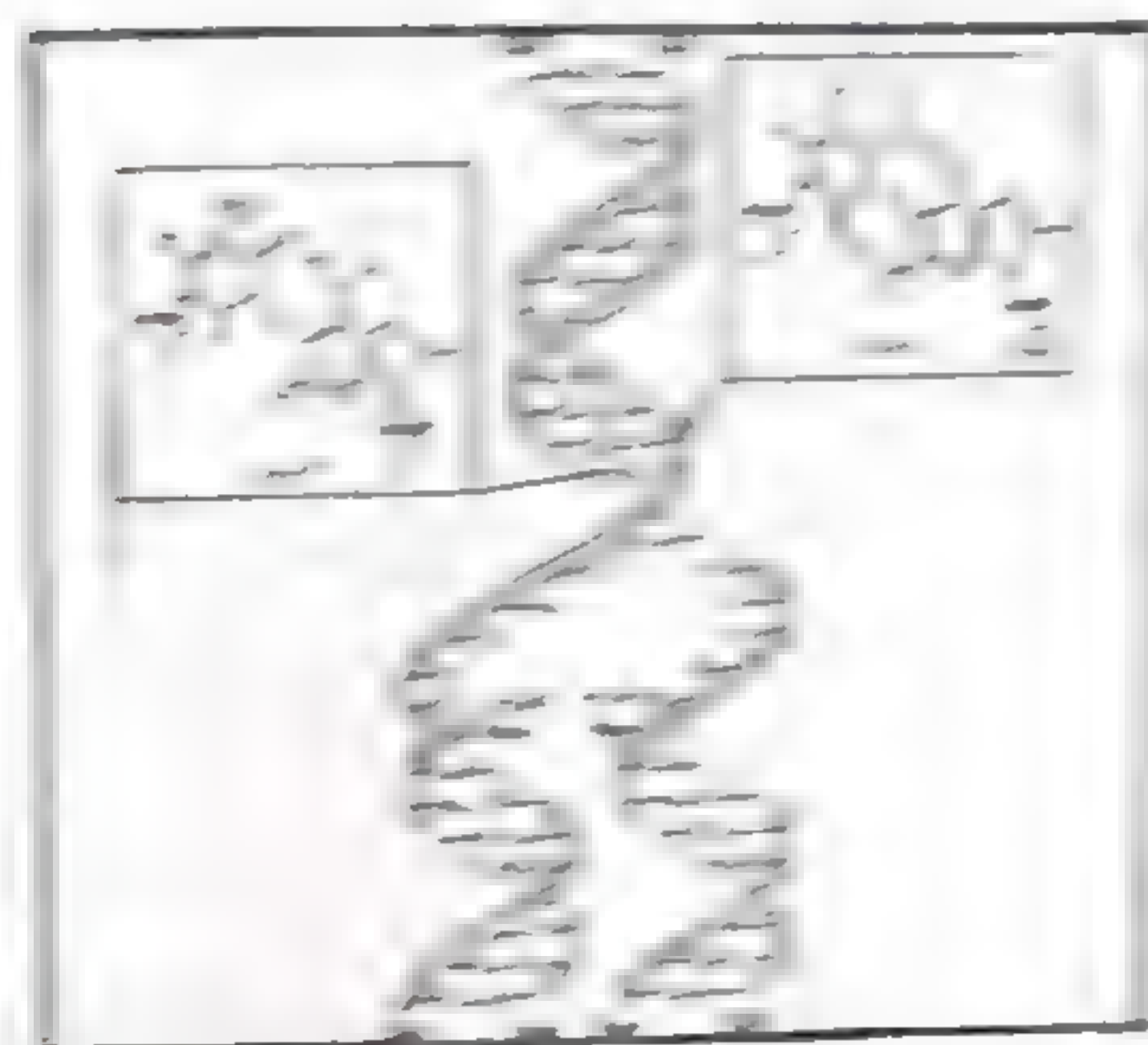
التضرس المفضل للجزيئات الضخمة ، وهذا الهب شغف كريك باللولبيات
او الحلزونية (helix) . لكن المسألة الخطيرة الاهمية كانت الاساس الكيميائي
للطريقة التي تستخدمها المتعضيات لاستنساخ الدنا الخاص بها. على ما يظهر
كان لليورينات والبريميدينات اهميتها الخاصة بها . واستادا الى التعليل
ان الطبيعة تنزع الى عمل الاشياء في ازواج، نبد واتسون فكرة الثلاثية
الاهان وارثاى انه من الاكثر معقولة بناء نموذج من وهين مفتولين على
بعضهما مع القواعد موجهة نحو المركز، وبعدما عمل قطعا من القوى لتمثيل
القواعد الاربع حاول بناء نموذج بالاربطة الهيدروجينية مع كل قاعدة مواجهة
لقاعدة ماثلة بحسب ما أمكن تصور حصول عملية نسخ وهن من الاهان.
لكن هذا النموذج لم يأت متراصاً كما تبين من الدراسات بالاشعة السينية.
وكما أشار جيري دوناھيو (Jerry Donahue) وهو خير كريستالوغرافي امريكي
يعمل بنفس المختبر، كان واتسون ، تاماً كجميع الآخرين، يستخدم الشكل
التعادلّي التآلي (tautomeric) الغامض، للقواعد، وشعر دوناھيو ان القواعد
تواجدت بشكل الكيتو (Keto) وليس بشكل الاينول (Enol) .

(ملاحظة: Keto هي البادئة الدالة على الكيتون Keton وهو مركب
كيميائي عضوي يتضمن مجموعة الكاربونيلات carbonyls الثائية التكافؤ
CO بالاتحاد مع اساسين هيدروكاربونيئين اثنين — hydrocarbon radicals — 2
اما الاينول Enol فهو الشكل التآلي التعادلّي لمركب compound يتضمن
المجموعة — C(OH)C(=O) .

وبناء على هذا قام واتسون باعداد قصاصات مقوى جديدة وحاول مرة
اخرى تركيب الازواج القاعدية لاعداد نمونجه، وفي هذه النقطة اكتشف
ان القصاصات الخاصة بالادين مع التايين كانت من نفس شكل وحجم
قصاصات الثوانين مع السيتوسين، وعلى حين غرة اتضح له مغزى نسبي
تشارغاف: A=T ، G=C .



فصل ۶۸ - رویه‌های ترمیم ترمیم در صورت



قتل ١٧ - يوم الغدري بين مكة وبيت حزنه من رماة.

[illegible]

وخلال هذه عشر شهور كان وصوفه وكثيره قد شيئا مودعا لثمن
مدايا لياحات القيرانية فهو ليس فقط الشكس الثلاثي الابعاد لثمناً وانما
ايضا الطريقة التي تأسست ليعرمة به. وهذا في نتائجها تشرت للمرة الاولى
في عام ١٩١٤م فقد تراكم قدر كبير من التوافد يؤيد بينهما للقرحة ،
تبرؤ الانج من يسه طريقة ارض كوريج " يستعمل عليها الطبيب
حزينة هذا شيئا يولوح في الصورة المتارة .

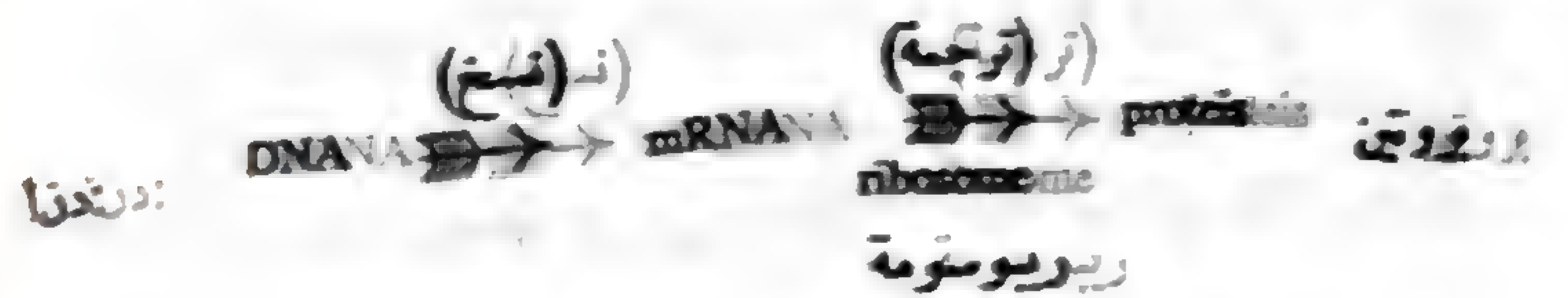
الفصل التاسع - من المطبوعة الى المتضمنة

اطلقت تجربة ميلر الانتعالية للاحوال الجوية على الارض البدائية البحوث حول كيفية ابداء الحياة ، وذلك بايضاح الطريقة التي تكونت بها اللبائن البنائية قبل ظهور الخلايا الاولى ، ومن بين هذه اللبائن البنائية هي النووتيدات (nucleotides) التي تلتهم بعضها لتشكل حوامض النوويك (nucleic acids) ، وحمض النوويك (دنا DNA) هو الاساس الجزيئي لقدرة الحياة على التكاثر ، لكن الدنا ليس سوى جزيئة معلوماتية كما هي الحال بالنسبة الى شريط الكمبيوتر ، والبروتينات ، بتوزيعها وادوارها الهائلة ، هي الكيماويات الاكثر مباشرة مطلقا والمسؤولة عن شكل ، وتركيبه ووظيفية المتضمنة ، يتم انجاز الفرض البيولوجي للدنا بنقل المعلومات المدونة في بنيته الكيماوية وترجمتها الى بنى بروتينية ، فكيف اذن يتم خلق البروتينات من بنية الدنا ؟

يوجد نوعان من حوامض النوويك هما الدنا والرنا . والدنا هو الجزيئة التي تعمل كمستودع للمعلومات الوراثية ويتواجد في نواة الخلية ، أما الرنا ، من جهة أخرى ، فيتواجد في كل من النواة والسيتوبلازما معا . يحصل تشيل البروتين في السيتوبلازما ، وحتى في السنوات الاربعينية من هذا القرن ، ابا ان كان لا يزال يجهل ان الدنا هو مادة الجينات ، دلت البحوث التي قام بها توربيون كاسبرسن^(١) (Torbjorn Caspersen) في ستوكهولم وجان براخت^(٢) (Jean Bracht) في بروكسيل على ان الرنا يدخل بكيفية ما في تشيل البروتين .

في عام ١٩٥٠ تمكن هنري بورزوك وزملاؤه^(٣) (Henry Borzook) من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ، وتور هوتلين (Tore Huttlin) من معهد وينر-غرين

يسمى كحول كل جزيء على حدة ومستقل عن الآخر، من تشخيص
الميكروسومات التي سميت لاحقاً بالريوسومات (ribosomes) في الستولامة
كالملقح الذي يتم تمثيل البروتين فيه لا يعمل الدنا مباشرة كرسوة
(template) لتمثيل البروتين، إنما بدلاً من ذلك يجري ترجمة سياق الدنا
إلى جزيئة ارناف التي يجري نسخها من الدنا بنفس الطريقة التي يتم بها
استنساخ الدنا، ونسخة الرنا من الدنا هي الرنا الرسول
(mRNA messenger RNA) التي تحمل المعلومات الوراثية في سياقها إلى
الريوسومات لترجمتها إلى سلاسل الحوامض الأمينية من البولي ببتيد
(polypeptide) :



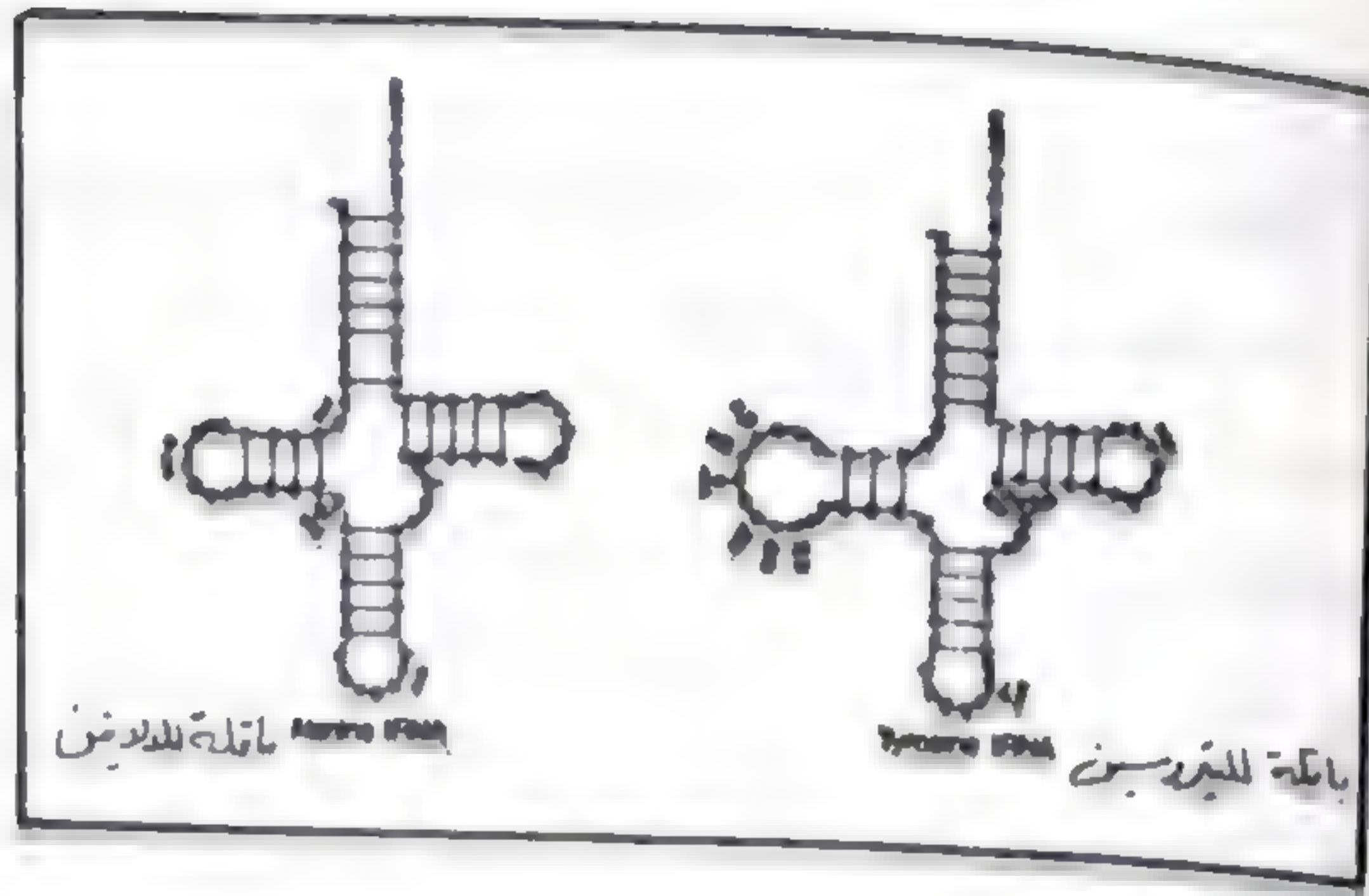
في أواسط الخمسينيات من هذا القرن ظهر البيولوجيون أن الرنا
الريوسومي هي بالذات الرسومة (template) لتمثيل البروتين وتضمنت البجوات
أو البكتيريا التي كانت ممتعة لتشكل الحوامض الأمينية التي يتم منها تشييد
البروتين، لكن لم يتمكن أحد من تشييد نموذج من الرنا مع التقبول للمينة
يمكن تصورها أنه يعمل بمثابة رسومة، وكان فرنسيس كريك هو الذي
أدرك أن الحوامض الأمينية لا تتجلى (fit) مباشرة في جزيئة الرسومة
وإنما تحتاج إلى جزيئة موصلة (adaptor) نوعية للحوامض الأمينية الذي يميز
الموقع المخصوص في الرسومة.

كان كل ما هلون هو غلاندر (Mablon Hoagland) من جامعة هارفارد قد
اكتشف مستقل من الرنا تعتبر ترميزه عملية التذبذب المركزي (centrifugation)

وغل غلاندر في الحلول وبالنسبة لملق ما هلون على هذه اسم الرنا الناقلة،
غير أنه لم يمض وقت طويل قبل أن يدرك البيولوجيون أن رنا هو غلاندر
الناقلة كانت هي نفسها جزيئات كريك للواقعة، وخلال فترة قصيرة تم إيجاد
رنا ناقلة بوجية لكل من الحوامض الأمينية العشرين، وطبقاً لدورها الفعلي
أصبحت تعرف باسم رنا الناقلة (transfer RNAs = tRNAs) :

وعند تمسك أو ترتيب سياق جزيئات الرنا الناقلة تبين أن جميعها
تمتت (CCA) في نهاية البولي نوويد التي تحتوي على السكر مع مجموعة
داي هيدروكسيل (hydroxyl group) مائية على 3-كاربون (3'-carbon) وهي في
النهاية التي ترتبط بها الحامض الأميني، إضافة لما كانت نسبة A/U و G/C
تتماثل بالتساوي مما قلنا توجد إمكانية لزوجات (pairing) قاعدية كبيرة ضمن
الجزيئة كما لاحظ هوريت هولوي وزميلوه (Robert Holley) بجامعة
كودنيل أن الرنا الناقلة تحتوي على عدد من القواعد الاعادية التي تختلف عن
الاثنتين والعشرين الباسيتومين واليوراسيل باستبدالها بمجموعة واحدة أو
أكثر من مجموعات ميثيل (methyl groups) في مواضع مختلفة في بنيتها.

كان أوزوريت هولوي وآخرين قد انجزوا تحليلاً كاملاً لرنا ناقلة للالانين
(alanine) في عام ١٩٦٥ وفي العام التالي أعلن علماديسوتون (Madison)
وزميلوه (١٩٦٥) عن اكتشاف سياق النويد في رنا تخميرية، فساقه للتيروسين
(tyrosine) (ملاحظة: alanine حامض أميني طبيعي غير جوهري، سيكتف
بـ $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ بلور شفاف يذوب في الماء ويستخدم في الطبخات
الكيميائية وفي دراسات تأثير الحوامض الأمينية، tyrosine حامض أميني
بلوادي أيضاً غير جوهري، سيكتف $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ يتكون من تصنيع الجزيئات
كما في إيتان الجنية) كانت الببتان المقترحات للذين الرنا الناقلة هي



Alanine tRNA

Tyrosine tRNA

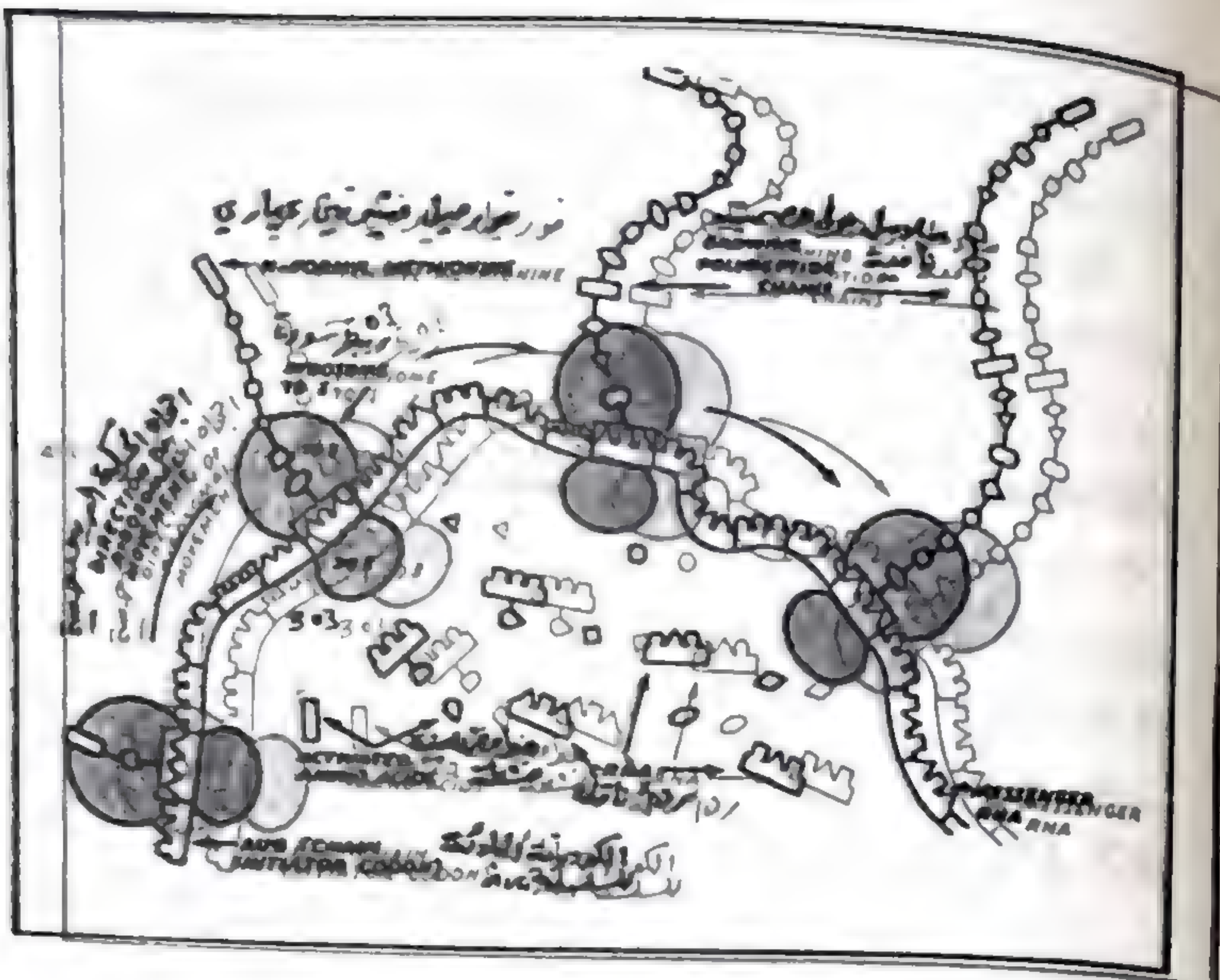
الشكل ١/٩ - البنية المقترحة للـ RNA الناقل الثلاثي والـ RNA الناقل للتيروسين.
يجري اعداد الحوامض الامينية للاستخدام في تشيل البروتين بتنشيطها في تفاعل مع ثلاثي فوسفات الادنوسين (آتب) (adenosine triphosphate ATP) الذي يستلزم الانزيم امينواسيتيل رنا سينثاز (aminoacyl RNA synthetase) فيكون الناتج عقدة او تشبيكة (complex) منشطة من الحامض الاميني انزيم-امب (enzyme-AMP) الذي ترتبط فيه مجموعة خماسي الفوسفات (5'-phosphate) من الادنوسين الاحادي الفوسفات = (آمب) (AMP=adenosine monophosphate) كانهيدريد مختلط (mixed anhydride) بمجموعة الكربوكسيل (carboxyl) من الحامض الاميني، ويتم شطر البيروفوسفات (pyrophosphate) من الآتب (ATP) المنشط في العملية، على هذا النحو:

تفريسة ورقة البرسيم (clover-leaf configuration) ممسوكسان معا بروابط هيدروجينية مع قواعد (CCA) في موضع ثلاثي التكافؤ (3') وتشتران بارزتين. وقد تم منذ ذلك الحين التثبت من سياقات حوالي خمس وسبعين (٧٥) جزيرة رنا، ويمكن تنظيمها جميعها في نفس ملية ورقة البرسيم.

تتضمن الانشطة الوسيطة من ورقة البرسيم في النهاية المقابلة من (CCA) قائم ثا من القواعد اللامزدوجة التي تشكل كودونة مضادة (anticodon)

والكودونة = codon = مجموعة صغيرة من الوحدات الكيميائية تتألف من سياق ثلاث نووتيدات تقوم بتدوين دمج حامض اميني معين في جزيرة بروتينية (تاء تشيل البروتين). وهذه القواعد الثلاث هي متممة لثالث القواعد في الرنا الرسول (mRNA) التي تمثل كودونة (codon)، او كلمة واحدة من المعلومات الموجودة في الرنا الرسول والتي تترجم الى حامض اميني واحد. تتراوح الرنا الناقل (tRNA) في عدد النووتيدات من (٧٤) و (٩١)، ولكن من بين جزئيات الرنا الناقل المختلفة تبدو المسافة الاجمالية من النهاية عند (CCA) الى الكودونة المضادة في النهاية الاخرى ثابتة، ويتم تعويض الفارق في عدد النووتيدات بحجم الانشطة الصغيرة الكائنة بين الطرفين (limbs) الايمن والاسفل. كذلك تقع القواعد اللامزدوجة في مناطق لا تشكل الاربطة الهيدروجينية، وعلى تقيض الاشكال الاخرى من الحوامض النووية، يتوجب على الرنا الناقل ان يتألف من بنية ثلاثية الابعاد نوعية للغاية، وهي من هذه الوجهة في الواقع تشبه البروتينات.

وفي الخطوة التالية يجري نقل تفرقات الحامل مضاللايني من المنسجط بواسطة المنطقة
التي هي الأخرى الرنا الناقل الناظر ثراو الوافقة (corresponding) * كوجود من إذا
قابلة لخاصة لكل الحامل مضاليني في الرنا الناقل ناظر غير (specific) لكل الحامل مضاليني
يعبري فيها إلى الرنا الناقل ناظر بعد ذلك المنقل فتحة الرنا الناقل ناقل (rRNA complex)
المنسجط الحامل مضاليني إلى الريبوسوم (ribosome) جسيمة كروية دقيقة
مما تلت من الرنا ناظر الورتشاتة ومتواعدة بأعداد كبرى في فيستوبلازما الخلايا
وهم تمسج فيو أتمثل البر الورتشاتة على السطح إلى الريبوسومي مبداء نقل الحياتيات
الكلوكية إلى الحاتات من قبل الرنا ناظر للول (a).



يقوم أساساً اقواعد البرمجة في رومن (الرمز) الرمز للرمز،
المستخرج بالاصل من الدلائل التي هي موجهة بترتيبها من الامتداد في
عملية تشغيل البرمجة وهذه المعلومات المحتملة في الرمز للرمز ليست
في رموزها ام مفرد، وانما هي في اقسام من ثلاث ورموزها اولاً والث
نوع ورموزها على ان فانها للرمز التكوينية (genetic code) القائل من الرموز
(triplets) لاندخلت في سلسلة الرمز للرمز، وكل الرموز التي هي كلمة
رمز مرمزة، والرمز مرمزة.

| | | الرسالة SECOND LETTER | | | | | |
|----------------------|---|--|--------------------------------------|--|--|------------------|--|
| | | U | C | A | G | | |
| الرسالة FIRST LETTER | U | UUU } Phe UUC } UUA } Leu UUG } | UCU } Ser UCC } UCA } UCG } | UAU } Tyr UAC } UAA } OCHRE UAG } AMBER | UGU } Cys UGC } UGA } UNDER UGG } Typ | U C A G | |
| | C | CUU } CUC } CUA } CUG } Leu | CCU } CCC } CCA } CCG } Pro | CAU } His CAC } CAA } CAG } Gln | CGU } CGC } CGA } CGG } Arg | U C A G | |
| | A | AUU } AUC } AUA } AUG } Ileu Met | ACU } ACC } ACA } ACG } Tyr | AAU } AAC } AAA } AAG } Asn Lys | AGU } AGC } AGA } AGG } Ser Arg | U C A G | |
| | G | GUU } GUC } GUA } GUG } Val | GCU } GCC } GCA } GCG } Ala | GAU } GAC } GAA } GAG } Asp Glu | GGU } GGC } GGA } GGG } Gly | U C A G | |

الشكل ٣/٩ - المدونة التكوينية • Genetic Code
 UAA، UAG، UGA، UAA، هذه هي الكودونات
 المتضمنة للسلاسل • تستخدم AUG بمثابة الكودونة البادئة
 للسلسلة وتمثل الفورميل شيونين في بكتيريا كولي • E. coli
 وفي الوسط سلسلة بروتين تمثل الميونين •

ونتيجة للدراسات العديدة الإضافية تبين أن الحوامض الأمينية تحتوي
 ليس فقط على ثوابت مخصصة لها وإنما وجدت فيها أيضا كودونات تتضمن
 تعليمات خاصة • وعندما اكتشف البيولوجيون أن جميع البروتينات التي
 تقوم بكتيرة أي كولي بتشيلها تضم عياري-فورميل شيونين بمثابة عيار -
 فضلة الحامض الأميني النهائية أدركوا أن AUG كانت الكودونة البادئة أو
 المحركة (initiator) تبدأ جميع البولي هضميتيدات بعياري-فورميل شيونين الذي

بعد الفراغ من حل مسألة كيفية تخزين المعلومات الوراثية في الدنا،
 ونقلها إلى الرنا الرسول، وترجمتها إلى بنية بروتينية، بقي أمر فك رموز
 المدونة بذاتها، فأية نووتيدات تتناظر أو تتوافق مع أية حوامض أمينية؟
 كان نيربرغ (M.W. Nirenberg) وماثايل (J.H. Mathael) في عام ١٩٦١
 أول من تمكن من فك رموز كودونة • فقد اكتشفا أن البولي نووتيدة
 الاصطناعية (synthetic) المتضمنة فقط لحامض اليوريدليك، البولي يوريدليك
 (uridylic, polynuridylic acid) يمكن أن تقوم مقام مرسومة للريبوسومات
 المعزولة من البكتيريا أي كولي (E. Coli) • وعند مزج البولي يو (poly U)
 بمستحضرات الريبوسوم وإضافة جزيئات الرنا الناقلة بعد ذلك، كل منها مع
 حامضها الأميني النوعي، تم تمثيل بولي هضميتيدة احتوت فقط على الفيل
 الأنين (phenyl alanine) ومن هذا تمكنا الاستنتاج أن الكودونة للفيل الأنين
 كانت الثلاثي UUU •

وفي تجارب مماثلة قامت GUU بتوجيه عملية تمثيل البولي هضميتيدات
 المحتوية على الفالين (Valine) • وكانت UGU الكلمة الرمز لليسيتين
 (cysteine) • و UUG للوسين (leucine) • وفي الأخير، باستعمال كتل من
 البولييرات المتوازية • وهي بولي نووتيدات ذات سياقات متكررة لقاعدتين
 أو ثلاث قواعد، تم فك كل رموز المدونة التكوينية برمتها •

[illegible][illegible]

كل كمال الوجودات فيكون هو الوجودات لبقية جنس ومكانات لفرعية
تلك الوجودات فيكون الوجودات في الكمال والتمام فيكون الوجودات
الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال
الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال
ووجدتها في الكمال فيكون الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال
الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال
تخرج من الكمال فيكون الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال
ان تستعمل في الكمال فيكون الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال
كم الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال
فيما انظر الى الكمال فيكون الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال
مجرد الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال فيكون الوجودات في الكمال

فقط أربع حروف (٦٤) كلمة مع فتح ذلك، فان ورد ما لا الحياتي يدونا بديا،
وإيا في الأعليه مستند على الوحدانية في حروفنا اللذان التي لا قبله اللام في
الواقع.

يمكن من الجدل انه منقول كل مله اجتهاد اليه بالذات لا يوافق عشرين حلقا
 امينيا بل كثر يوجد العديد من الحوائض الامينية الاخرى غير هذه العشرين
 كان ولا يمكن ان يتغير كبرياتها انما يقبل ان ذلك مشفق من اوسع الوالع من
 الذل والذل ان يثبت واقية للعرض واما كانت الصنف الذي لا يثبت بحدوثه
 وتقوم على الترتيبات الاخرى الاكثر تعقيدا يكونه كركب سلطانة او كركب
 استقر الوالع مع كركب من امارا وحكما واما لم يتواجد فانه بعض من استخدام
 الوالع كركب من الحوائض الامينية لما كانت عشرين وثمانيا كاتبة للعرض في الشهود

[illegible]

الفصل العاشر - خيط متواصل

ان جميع الكائنات الحية الموجودة على وجه الارض مشدودة بخيط نشو، تطوري لا مرئي يمتد متواصلاً بلا انقطاع الى جذور بداية الحياة الاولى. وهذا الخيط هو جزيرة الديوذا الموجودة في كل خلية من خلايانا والتي تحمل المعلومات التركيبية لتشييد كياننا الحي بذاته ، لقد تواجدت هذه الجزيرة منذ لحظة اختلاق اول الخلايا الحية قبل أكثر من ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، ومرت لي انائها بغيرات وتطورات ، وظلت تتناسخ جيلاً بعد جيل بلا انقطاع حتى يومنا هذا ، بقيت التغيرات القليلة التي وقعت في الجزيرة وتناقلت عبر الاجيال المتعاقبة ، وكل تغير وقع في جزيرة الدنا انعكس في تغير في بروتينتها المترجمة عن بنيتها.

توجد انواع كثيرة من البروتينات في الخلية الوظيفية تقوم بأداء او متابعة جوهرية جميع التفاعلات البيوكيميائية ، فالبروتينات هي التي تسيطر وتتحكم في جميع العمليات الأيضية ومنع او قالب (matrix) العظام والاقياض، ونقل التفاعلات او العوامل التفاعلية (reactants) ، وتشيل او تصنيع المقومات ، وحتى في اشكال جميع المنظومات البيولوجية وخواصها الآلية او الميكانيكية ، وكل بروتينية مكيفة بدقة يبنيتها الكيميائية لأداء دورها النوعي، وبنيتها الكيميائية بدورها هي التعبير المباشر لترتبية الحوامض الامينية المختلفة الموجودة في سلسلتها، وعليه فان أي تغير يحصل في تركيبة الحوامض الامينية في البروتينية يكون له في معظم الاحيان اثر بالغ على كل الخلية او النسيجية برمتها، مع ذلك، فهذا هو أساس التطور ، وبدونه لا يمكن للحياة أن تنشا وتنمو مطلقاً.

ان قابلية الجهاز (genetic apparatus) للتبدلات الكبرى (mutability)

هي التي تؤدي إلى حصول التغير في البروتينات أو توليف الجينة قطعة أو شذفة (segment) من جزمة الـ DNA وتعمل الرسائل الموزونة لتمثيل بولي نيفيتيد واحدة وهي بولي نيفيتيد وسطا تكون هي بذاتها بروتينة، أو بربط تلك أو متحد مع بولي نيفيتيدات أخرى لتشكيل بروتينة، وعلى ذلك تغيرت بروتينة فعل التبدل العناني (mutation) في بياض الجينة يؤدي ذلك إلى حدوث تغير في إحدى الرسائل أو الموزونة فتجري قراءتها لخطا في البني مختلف ينفي بدوره إلى حصول استبدال في السلسلة الليفيتيدية أثناء تمثيل البروتينة، فتجتم التبدلات الكبرى أو الضخامة في العموم عن انخفاض المستوى الخلقي للاتعاض الطبيعية، مما يمكن أيضا أن تسبب عن قبل بعض الكيماويات.

وهذا هو التبدل الكبير على اصطلاحات البروتينات وعلى نطاق بولي نيفيتيدات مفردة، ويمكن أن يتوسع وتعد الامتاق والانواع التكرارية (genotypes) إلى اختلاف المقسومات الاليلية (allele combinations) والاليل (alleles) أي من زوج من الجينات يقعان في نفس الموضع من كلا زوج من المقسومات، وتختلف نقل الخلايا أو الخلايا المتوائمة أو التبادل الليفيتوسومي أو الانقلاب (inversion)، أو تغيير ترتيب المقسومة (recombination)، أو تعدد جوع الليفيتوسومات (polyploidy) وبالنتيجة، ما عدا في حالات التوائمة (twins) لا يوجد بين الأنواع المتقسمة فسادا متطابقا للسلات تماما، وهذه الحقيقة في التكاثر طاعت مجموعة أو تقسم جديدا (sexes) من التبدلات الكبرى حصلت عن الاخطاء التي تقع في الطريقة الطبيعية، ومن غير غير النشوء الجيني (Molecular Evolution) اعتمادا كبيرا على هذه التبدلات في جزمة الـ DNA المنقطة إلى استبدال الخطا في البني واحد في البروتينة المفردة، وهذا كيميائيا أكثر بساطة ويمكن دراسته تحليليا ووظائيا.



Figure 10.1. A molecule of Escherichia coli DNA. The bar represents 1,000 nm; magnification is 20,000 X.

الشكل ١٠/١: جزمة من الـ DNA المزدوج اللون الخطي، والخط يمثل الـ DNA (١٠٠٠ نانومتر، والصورة مكبرة عشرين (٢٠) ألف مرة).

ان وتيرة وقوع التبدل الطفرى، كعملية التفكك الاشعاعى، تشكل عاملا احصائيا ثابت الاستمرارية الى درجة باهرة . وتدل تقديرات أي تسوكر كاندل (E. Zuckerkandl) وإيل بولينغ^(١) (L. Pauling) على ان كل حامض اميني في الهيموغلوبين يتعرض للاستبدال بالتبدل التكويني بمعدل وتيرة مرة واحدة كل ثمانمائة (٨٠٠) مليون سنة، ولما كان الهيموغلوبين يحتوي على مائة واربعين (١٤٠) حامضا امينيا، فان هذا الاستبدال يقع في الجزيرة بمعدل (٥٠٧) مليون سنة، (أي كل خمسة ملايين وسبعين ألف سنة).

كما أبد موتو كيمورا^(٢) (Motoo Kimura) ثبات دوامية هذه الوتيرة للاستبدال باجراء مقارنة بين عدد استبدالات الحوامض الامينية التي وقعت في السلاسل الهيموغلوبينية في الانسان وفي سمكة الكارب يتألف الهيموغلوبين من ساقين من البولي هيميبيدات تسمى بسلاسل الفا وبيتا (alpha and beta chains) نشأت من الهيموغلوبين المتيق ذي السلسلة الواحدة فقط . فالانسان وسمكة الكارب بهيموغلوبينهما الثاني السلسلة منحدران من جد واحد مشترك ذي غلوبين (globin = الجزء أو العنصر البروتيني في الهيموغلوبين) بدائي عاش اثناء الحقبة الديفونية بين ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة واربعمائة (٤٠٠) مليون سنة خلت، ويعتبر ان التفرع الى سلاسل نشوئية منفصلة وقع قبل حوالي ثلاثمائة وخمسة وسبعين (٣٧٥) مليون سنة . وقد وجد كيمورا في مقارنة سلسلتي الالف والبيتا للهيموغلوبين البشري اللتين تأتيان من جينات منفصلة انهما تختلفان في مجموع عدد استبدالات الحوامض الامينية بقدر (٧٥) . وعندما قارن عدد الاستبدالات في سلسلة بيتا البشرية مع تلك في سلسلة الفا الكاربية وجد ان الفارق يبلغ (٧٧) جوهريا مماثلا . وبعبارة أخرى، بعد انفصال الانسان وسمكة الكارب من جد واحد قبل

بلائمائة وخمسة وسبعين (٣٧٥) مليون سنة تعرض كلاهما جوهريا الى نفس عدد التبدلات الطفرية في سلسلة الالف من هيموغلوبينهما .

تضم انواع مختلفة العديد من نفس البروتينات مشتركة بينها تقوم باداء نفس الوظيفة ، ولكنها قليلا من نوع الى نوع في تركيبة الحوامض الامينية . تسمى هذه البروتينات بالمتماثلة (homologs)، ويزداد تشابه تركيب البروتينات المتماثلة بازدياد تقارب أنساب الانواع . وفي عام ١٩٩١ اقترح فرنون انغرام^(٣) (Vernon Ingram) من معهد ماشوسيتس للتكنولوجيا امكانية استخدام وتيرة الاستبدال (substitution rate) في هذه البروتينات المتماثلة كساعة للنشوء التطوري الجزيئي .

تظهر درجة التشعب التباعدى (divergence) في تركيبة بروتينات الدم في الحيوانات المختلفة على الاخص في دراسات مصل الدم (blood serum) * اذ عند حقن الدم البشري في ارنب ينتج تجاوب الارنب المنيع أجساما مضادة (antibodies) للبروتينات البشرية . وعند خلط هذا المصل ضد بشري (antihuman serum) بدوره مع الدم البشري، يحصل تكتل (clumping) بنسبة مائة بالمائة (١٠٠٪) في بروتين الدم . كما ان خلط نفس المصل ضد بشري مع دم انواع أخرى يعطي نسب الترسب التالية : في الغوريلا ٦٤٪، في الانغوتاز ٤٢٪، في قرد البابون ٢٩٪، في الثور ١٠٪، في الغزال ٧٪، في الخيل ٢٪، في الكنفارو ٠٪، وهذه مقاييس دقيقة جدا للتشابه والاتساب الكيميائي، ويتناظر ترتيب النسبة فيها مع الشواهد المستحصلة من التشرح المقارن والامبريولوجيا (علم الاجنة) المقارنة والاحاث او الباثولوجيا المقارنة .

ويمكن لدارسي النشوء الجزيئي الآن اجراء مقارنة مباشرة لهذا التشعب

التابعي لتركبة الحوامض الامينية في البروتينات المتساقطة . وقد قامت
 مرغوت دايوف وزملاؤها (Margaret Dayhoff) بنشر السجلات المروقة
 لبروتينات متوسطة منذ عام ١٩٦٥ من المؤسسة الوطنية للبحوث البيولوجية
 (National Academy of Sciences) في مجلس سياتل وني البروتينات . وقد ازداد عدد
 القيود من (٥) في عام ١٩٦٥ الى (٤٠٩) في عام ١٩٧٣ (١٩٧٣) ويمكن بالسيقات
 المروقة للبروتينات المتساقطة الاخوة من عدد من الانواع اجراء مقارنة لتحديد
 على عرض كل نوع لاستبدال الحوامض الامينية في البروتين خلال التبدل
 القوي .

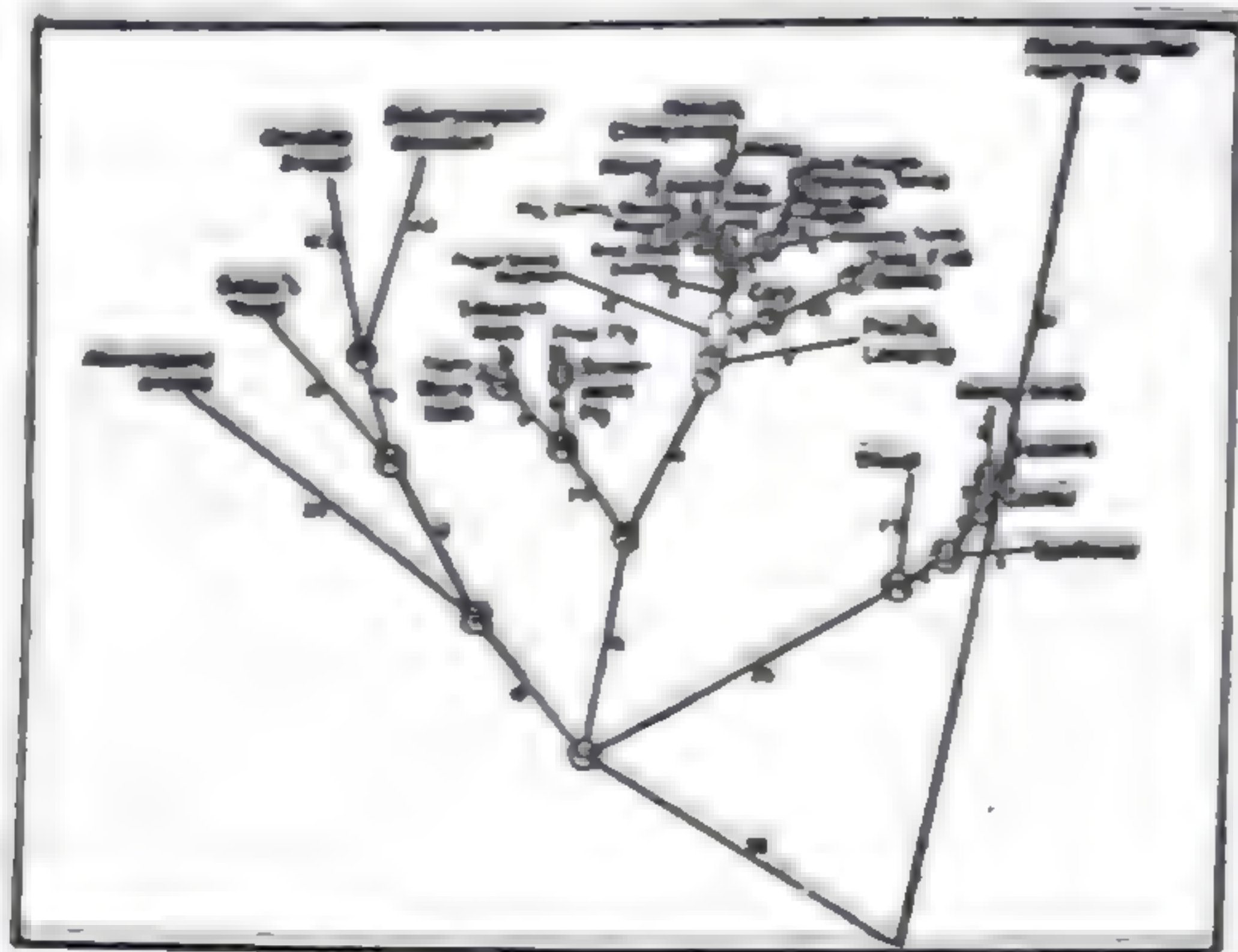
كانت السيوكروماتسي (Cytochrome) من بين اوائل البروتينات التي
 تمت دراستها من قبل غيا تومل مارغولاش (Emmett Margolash) من مختبرات
 آي بي و التي تقيس (Walter M. Fitch) من مدرسة طب جامعة كولومبيا (٥) .
 يمكن استخراج وتقية بروتين هيم (Hemoglobin) هذا بسهولة وهو موجود
 في كل كيتوكروماتسي (Cytochrome) اليوكروماتسي ، في جميع الكائنات الحية
 ما فوق اليكثيرات والطحالب الخضراء . نوعه فانه يمثل تغييرا او ظهور
 لينة واضحة متتالية متوالية منذ حوالي ثمانية وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون
 سنة خلت .

في الفترة متضمن السيوكروماتسي (١٠٩) حوامض امينية ، والكر
 من ذلك قليل في غير الفترة . وهو المتعلق نطاق شكل هذه السيوكروماتسي
 البيولوجي يتغيرها على طول وتغيرها بالتفاعل مع اوكسينات السيوكروماتسي
 وربما اكثر السيوكروماتسي (Cytochrome c) فقد استقر ذلك عن
 الحفاظ على سطح البروتين . وان اي تبدل قوي يؤدي لاستبدال الحوامض
 الامينية في اي تغير شكل البروتين غير قابل للتجديد فانه يتبدل ولا يبقى .
 وكنتيجة ، يبقى خمسون بالمائة (٥٠٪) من الفترة بلا تغير ، ضمن الحوامض

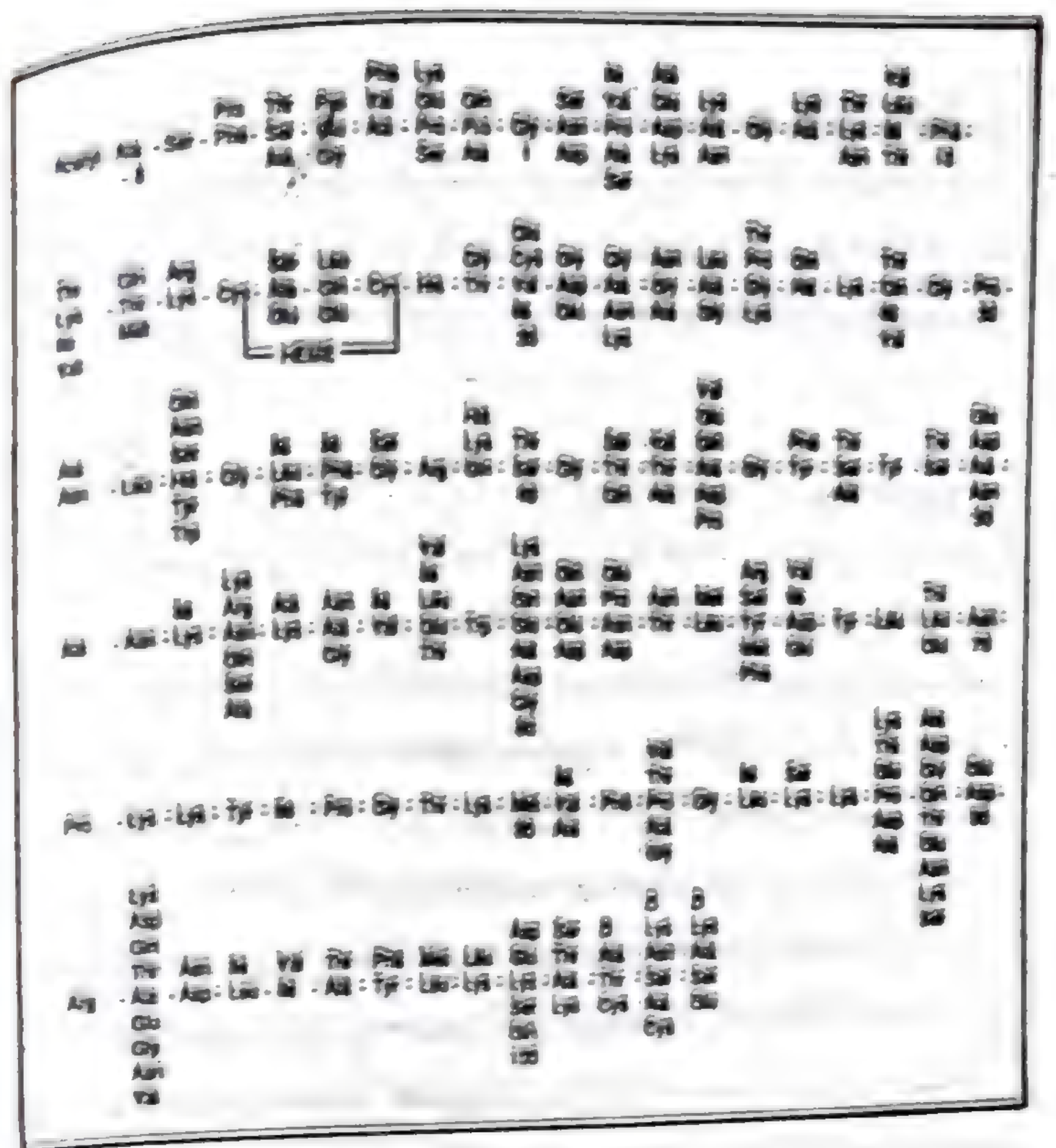
الامينية المتغيرة توجد تسعة عشر منها على الاخص تلعب دورا في تطابق البولي
 مضامينات . ومنه اخرى قد بقيت على حالها لاسباب غير معلومة . توجد
 ايضا دواامينة لصنف البروتين القاعدية والتساقطية للماء او الالافية للماء
 (Hydrophobic) . كذلك ان بعض قلات الحوامض الامينية تبادلية تعويلا ، او على
 نطاق كبير .

في دراسة ابدال التبدل القوي بين السيوكروماتسي (٥) عشر نوعا
 مستند من الفترة الى الانسان ، وجد فيتش ومرغولاش صلة بين النسبة
 التبادلية للانواع وعدد التوارق المتصلة ، وتطاولت التوارق او اتصت
 فرقي بروتينات الانواع القريبة الانسابة . بينما كانت اعظم التوارق في الحوامض
 الامينية التي الانواع الامتد لاختلاف . وتميزت ثلاثة القروء والانسان بفترة
 تبادلية والحق في ثلاثة الانسان استقرت عن استبدال الحوامض الامينية بروتين
 (Histidine) بالحامض الاميني ايسوليوسين (Isoleucine) في موضع واحد .
 واختلفت الحوامض عن سكة التواء (Turn) بعشرين حمضا امينيا ،
 وبوتقة واربعين (٤٥) في خمسة مكر (Repeat) . يبلغ معدل التوارق بين
 المتخلقات العليا والحيات الاخرى (١٠٨) فصلة . ومع الحوامض استبدالات
 الحوامض الامينية الثلاثة عن التبدل القوي في تاريخ السيوكروماتسي ،
 تمكن فيتش ومرغولاش من تحديد شجرة التطور السلافي . ورغم ان
 الاستبدالات في السيوكروماتسي ربما لم تتجم عن التبدل القوي الاكثر
 مسؤولية عن اي تشعب تابعي . فان تشعبا يتوافق بشكل ملحوظ
 مع التطور التبادلي للانواع .

تم برجة سياقات الحوامض الامينية للبروتينات المتألفة بالكمبيوتر
لغرض استخراج الخصائص الثابتة (topology) لشجرة التطور السلافي، وهنا
يبنى الاحتمال على افتراض ان عدد التغيرات الاقل حصل في التعضية الجدد
للسلالة، بعد ذلك ينظر الكمبيوتر في امر كل حوامض اميني في سلسلة
البولي ببتيد، واحدا فواحد، مع حفظ الحوامض الامينية التي بقيت
بلا تغير باعتبارها ثابتة لا تخضع للتغير، اما بالنسبة الى الاخرى فتشتمل
الطريقة على صيغة رياضية (formula) لكل صيغة ممكنة ليتسنى الاخذ في
الحساب السياقات المحتملة لبنى السلافة، وقد ورد وصف للطريقة بكل
تفصيلها في الفصل الثاني من اطلس سياقات وبني البروتينات الصادر في عام
١٩٩٩.



الشكل ٢/١٠ = شجرة النشوء والتطور السلافي مبنية على السيوكروماتسي.
تسبح الارحام الى التغيرات المستنتجة للحوامض الامينية لكل
مئة وصلة او رابط. عن: اطلس سياقات وبني البروتينات،
المصادر عام ١٩٩٢.



الشكل ٢/١٠ = ماركس سياقات الحوامض الامينية السلافي استوكروماتسي
يوكلوتية، والسلافي المتواصل البالغ ١٢٢ قطعة هو لبروتين
جروثمة الفصح، وجميع السيوكروماتسي هي الاخرى المتفرقة من
ذلك، وحوامضها الامينية المختلفة مبنية فوق ونحت السياقات
الغلي او الغولي.

قام قامو توكي كيمورا (Tpmoko Ohta) وبنو كوكو (Koko) في دراسة (١٩٧٠) على البروتينات في
 المخلوقات المائية الخاصة بالنباتات البحرية في فو قوقرة استبدلت الجوامع من الاميتية بظابة
 تفرقها ان لم يكن من التغير في الوظيفية او البنية في التفرقة بين البروتين و وعلية فان
 اجزاء البروتينات في الاميتية وظيفية هي التي تفرق في التفرقة الاسرع و وعلية فان
 تتشابه جينات ذات وظيفية جديدة ببنية ما استساخ جيني و وعلية في الطريقة في تلك
 المتغيرة في تلك و وعلية في الاميتية التفرقة لتظهر في الاميتية كجينة جديدة
 ينما تحتفظ النسخة الاخرى بالوظيفة القديمة الالة في المقام

كشفت دراسة لغلين في الدم (Hemoglobin) في البروتينات في البروتينات في البروتينات في
 عن عن حمولة تشبه في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 مليون في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 الالاف والاسماء في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 كانت في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 في في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 بدائي في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 وهو هو في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 تتجلى على في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 الممرات في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 قد قدمت في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 ذات في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في

تحتوي الجينة الواحدة في المخلوقات (١٩٠٠) في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 يبلغ مجموع عدد النويكوتيدات في الجينوم في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 المخلوقات في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 قامت في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في

كج كج (Hemoglobin) وبنو كوكو (Koko) في دراسة (١٩٧٠) على البروتينات في
 للمخلوقات المائية الخاصة بالنباتات البحرية في فو قوقرة استبدلت الجوامع من الاميتية بظابة
 تفرقها ان لم يكن من التغير في الوظيفية او البنية في التفرقة بين البروتين و وعلية فان
 اجزاء البروتينات في الاميتية وظيفية هي التي تفرق في التفرقة الاسرع و وعلية فان
 تتشابه جينات ذات وظيفية جديدة ببنية ما استساخ جيني و وعلية في الطريقة في تلك
 المتغيرة في تلك و وعلية في الاميتية التفرقة لتظهر في الاميتية كجينة جديدة
 ينما تحتفظ النسخة الاخرى بالوظيفة القديمة الالة في المقام

توقفت قوقرة في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 (Russell Doolittle) وبنو كوكو (Koko) في دراسة (١٩٧٠) على البروتينات في
 ليفين في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في

بروتين في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 المصل في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 thrombin في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 الهيموغلوبين في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 حواص في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 طول في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 امينيا في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 الدم في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في
 يتفق في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في

في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في الاميتية في

المعلومات المأخوذة منها تشكل اسماها والعلماء في معرفة النشوء شبه البشري (humanoid evolution) • يملك جميع البشر وقرود الشمبانزي والغوريلا نفس الليفينوهضميتيدات بالذات، بينما توجد فوارق في ليفينوهضميتيدات ازواج قريبة النسب من الانواع الاخرى كالقط - الاسد ، والكلب - الثعلب، والحصان - الجاموس المائي - الجاموس الراسي. وفي دراسة النشوء الجزيئي (molecular evolution) لستة انواع من اشباه البشر بمقارنة ليفينوهضميتيداتنا اكتشف دوليتل والعاملون معه^(١١) أنه بالرغم من تطابق الغوريلا مع الانسان والشمبانزي فإنه يختلف عن القرود اللاذنية الاسيوية (Asian Apes) والسيامنج Siamang وهو قرد من فصيلة الغيبون gibbon خفيف الحركة يتواجد في الملايو. ويبدو ان هذه الشواهد الكيميائية على نسبة الانسان الى القرود اللاذنية الافريقية (African Apes) تؤيد اطروحة ليجي (Leakey) ان اجداد سلالتنا الاوائل عاشوا في افريقيا. يسيل الخبراء الاحاثيون الباليونتولوجيون الى تحديد زمن ظهور الانسان الى الوجود كنوع متميز منفصل عن الانواع العليا الاخرى في ما قبل اربعة عشر (١٤) مليون سنة خلت. الا ان خبراء النشوء الجزيئي^(١٢) من جهة اخرى ، يعتقدون ان الانسان والقرود اللاذنية الافريقية تنسبت وظهرت الى الوجود قبل فقط اربعة الى خمسة (٤-٥) ملايين سنة لا غير^(١٣). لكن، سواء ضر هذا أم نعم، فإنه لابد من القول ان التحليلات والمقارنات الكيميائية أقل تأثرا بالرأي الشخصي من التصنيفات النظرية • وعليه فالتا نعلم ان النسبية الجزيئية بين الانسان والانواع العليا الاخرى أقرب بكثير من الاعتقاد السائد في المصوم ، وبالفعل أقرب مما هي الحال بين افراد بعض الانواع الاخرى المعترف بها. فمن حين بروتينا (٥٠) بروتينا مختلفا عزلت من الانسان والشمبانزي وجدان الفارق سياقات الحوامض الامينية يقع في أقل من واحد بالمائة (١/١٠٠).

يوجد شكلان من التنظيم الصبغوسومي، هما الصبغوسومة المفردة في البكتيريا والطحالب الخضزررقاوية بمثابة دنا مزدوج الوهن في انشوطة مفلقة ، وسلسلة الصبغوسومات الاشبه بالخرزة (beadlike) المتواجدة في المتعضيات الاعلى. يمكن أن تحصل التبدلات الطفرة بالخطأ بعدد من الطرق أثناء انتساح الترتيبية الصبغوسومية ، لكن هذه الانزيمات الصبغوسومية تكون تقريبا دائما قتالة مميته، ومن جهة أخرى يتوقف مفعول التبدل الطفرة في الجينات المفضي الى استبدال الحوامض الامينية يتوقف على البروتينات. فاذا كان الاستبدال عديم المفعول على وظيفته البروتين، فإنه حيادي، لكنه اذا أحدث تغييرا في شكل وقدرة البروتين فإنه في هذه الحالة يكون ضارا بالمتعضية ولا يعيش معه التبدل الطفرة بسبب فقدان الفرد من نطاق التكاثرو. فالنوع الواحد يشكل مجما للتكاثر بين افراده ، وكل تبدل طفرة يعيش فيه يتسنى له الانتشار في جميع انحاء نطاق التكاثرو، وتنشأ انواع جديدة عندما تراكم التبدلات الطفرة في جماعات معزولة تكاثريا ، وفيما تنتشر التغيرات الناجمة عن التبدل الطفرة وتسود بين الجماعة يصبح تكاثر هذه الجماعة مع مجموعات النوع السلالي غير معتاد في البداية ثم في النهاية يسمي مستجيلا. بينما تشكل استبدالات الحوامض الامينية اللامتغيرة في البروتينات القائمة تبدا لطفرة لا يحتفظ به، تكون الوسيلة التي تحقق البروتينات الجديدة بها سياق حوامضها الامينية الامثل وظيفيا • وفي المراحل الاولى من الحياة على الارض ربما كانت البروتينات الابتدائية منخفضة المقدرة ولكنها ظلت تتحسن باستمرار باستبدال الحوامض الامينية الى أن بلغت أقصى كفاءتها، وأنداك تشبثت بالسياق المسؤول عن وظيفتها تحافظ عليه بحرص شديد، انما بدون تبدل طفرة، كانت الحياة ستبقى على مستوى الخلايا البدائية الاولى التي ظهرت على الارض البدائية.

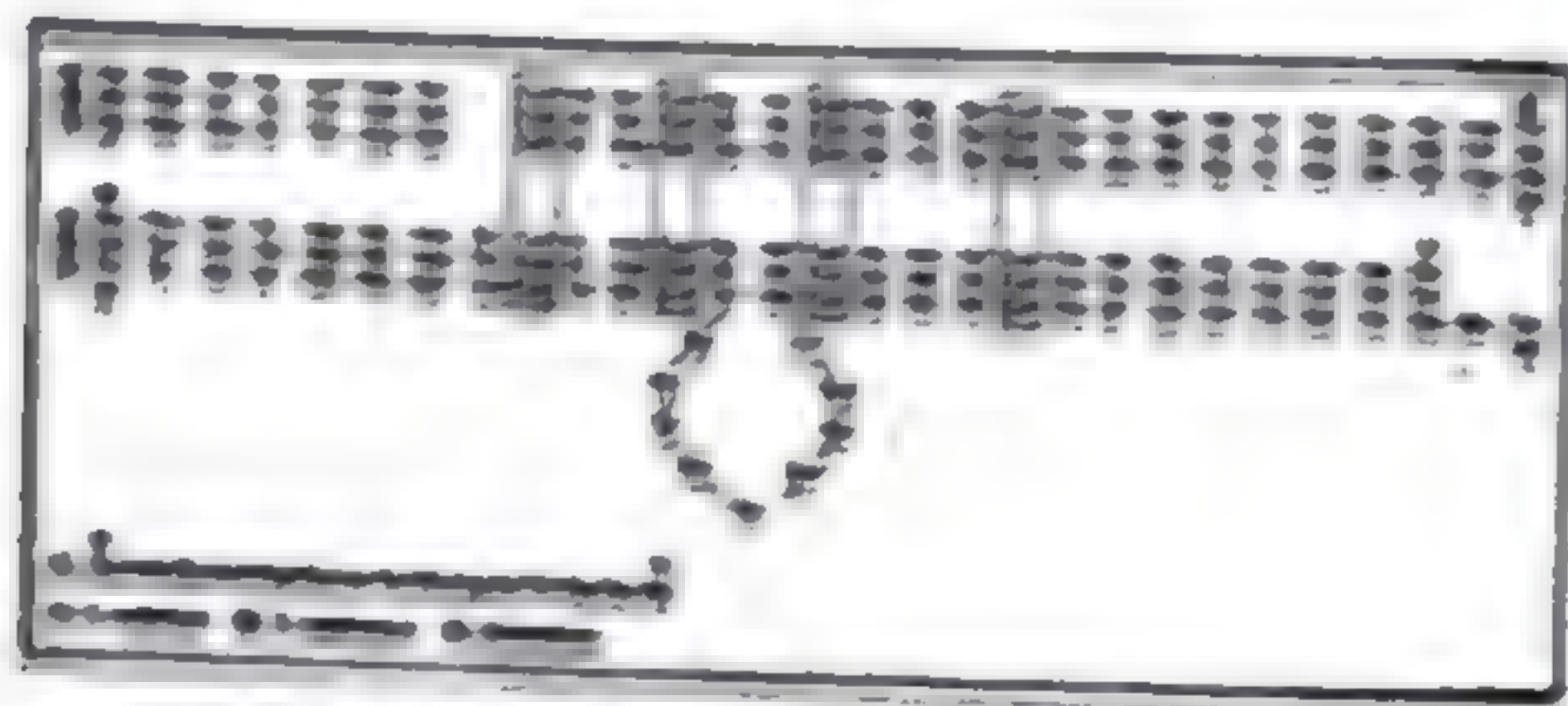
لكن تطور البنية البيوكيميائية لكما قد تنبأ من بضعة ملاحظات أساسية
 ونتيجة هذا هو ان التفاعلات الأساسية لم تعد يمكن تغييرها. والكمية جأ
 البيوكيميائية الكيميائية المتعقبات يترك منا ويعتمد على مستوياتها. على سبيل
 المثال تشمل التفاعلات (metabolism) في أجورة مثل الطاقة ولكنها أيضا مادة التفاعل
 جوهرية لمكونات مختلفة ومتنوعة من قبيل الكربوهيدرات والبروتينات والحمض الأمينية
 والسكريات. وحتى إذا تمكن إبعاد مادة أخرى تعمل أفضل من التفاعلات
 فإنها سيكون من الصعب تغييرها بدون نتائج مدمرة كاسحة وذلك بسبب كثرة
 التفاعلات التي تعتمدها. فكم من شئ تغير واحد ان يتصلبه في هرم منظم
 يؤدي الى تغير الكثير من آليات التنظيم.

ان الحفاظ على طرائق العمليات البيوكيميائية بفرض شدة توحده جميع
 الكائنات الحية في الخطوات الجوهرية الأساسية التي تجعل الحياة ممكنة.
 وهذا هو السر في كيف ان التحقق من سيات الحوامض الأمينية للمعبد من
 البروتينات واستخدام أجورة الكوسبيوت قد اتحت للخبراء البيوكيميائيين
 لتقصي وتبع الشو، التطوري لنباتات وحيوانات اليوم على مستوى جزئي.
 ربما تقرر النسبة (percentage) الحية في الثدييات المعاصرة بمائة (100)
 ألف حيثة فإن عند التفاعلات الأضية المشتركة بين النمل (termites) - جمع
 (termite) الحشرة صغيرة القامة. ومن هذا يبدو ان جميع الحيوانات
 والانساق بها تحضر من خلية بدائية بدائية كانت تلك فقط مائتي (200)
 مليون سنة مضت.

تعتبر البنية التي تتبع البيوترومفي من تاريخ أول نشأة الخلية
 البيوكيميائية ما قبل الف واللامعة (1000) مليون سنة خلت. لكن البيوتين
 العام القابل الذي ربما يست في القدم حتى أول بداية الحياة على الأرض هو
 التريموكسين، وهو بروتين حاو للعديد جوي في التفاعلات الضو-كيميائية

(metabolism) لكل الإلكترون الى مغزول الطاقة الخفية. التريموكسين
 قوة الختالية تسمى ما التريموكسين الجزئي، وهذه الخاصية تجعله المركب
 المستقر الأمثل الختالية في الخلية وتوحي الى انه نشأ في زمن كان هو الأرض
 فيه لا يزال شديدة الاختزال.

جميع ادوار التريموكسين المختلفة في الخلية أساسية جوهرية، فهو
 يساعد في تكوين الإنسب ATP بالاشعاع (13) وشارك في الختال الثاني
 اوكسيد الكربون الى اليوفات (pyruvate) ، ويستخدم في تثبيت
 البيروكسين (14)، وعلى ما يظهر ان التريموكسين أكثر علاقة من ثاني نووليد
 ادينين النيكلوتيدسايد (NAD: nicotinamide adenine dinucleotide)
 الذي عامل الختال متواجد في جميع الخلايا، وشارك التريموكسين مباشرة
 بمثابة مغزول ثاني اوكسيد الكربون مع الأزمسة المساعدة الاستيلية
 (acetyl coenzyme) بدلا من بواسطته (NAD) في الميكروبية البدائية (acetyl coenzyme)
 كوستريديوم باستوريانوم (Clostridium pasteurianum) والبكتيرة الطسوة
 تميلية كروماتيوم ليوسنة توفيلوم (Chromatium lithophilum).



الشكل ١٠/٥ - مقارنة بين سيات التريموكسينات في ميكروبية كوستريديوم
 وبكتيرة كروماتيوم

ان التريبتوكسين يروتن من الحديد والكبريت يقتضن فقط خمسة
 وخمسة (55) حامضاً امينياً وتالف من نسبة عالية فوق العادة من الحوامض
 الامينية الامترو والسترة ديتاموحرار هي في التلايين والالاف وحامض
 الابرتيك والبيستين (glycine, alanine, aspartic acid, cysteine) ومن دراسة
 لسياق الحوامض الامينية في التريبتوكسين استدل ريتشارد إيك (Richard Eck)
 ومغريت دايموف (Margaret Dayhoff) ان البروتين في تلك السلسلة
 من (29) وحدة وان الجزمة الاملية على سياق استكرو من الالاف والسيرين
 (serine) وحامض الابرتيك والتلايين يملكون الآلية (mechanism)
 الحية الاملية كانت سياقا من اثني عشرة (12) نووية تضاعفت ثم تضاعفت
 مرة ثانية وعملت سلسلة طويلة تكرارية وفي وقت لاحق قضا اصبحت التدوة
 الحية اكثر تعقيدا اضيف اليها حوامض امينية اخرى بما فيها البيستين
 والتحق الرابط الكيريميدي في البيستين بالحديد واخرى اضيفت لوسج
 سيكتلت بالتبدل الطفرة وتضمنت سلسلة مماثلتان في طبق الاصل
 (essential) استمر عن شبكة متقدمة من البروتينات الحديد والكبريت ذات
 قدرة مضاعفة عالية.

يقع التريبتوكسين في التعقيدات اللاهوائية البدائية الضوئية تمثيلية
 والاضوء تمثيلية وهو اساسي في كيمياء الخلايا او توحى بساطة
 التريبتوكسين وتطوره التلوثي الى انه ربما كان واحدا من اقدم البروتينات
 الاولى التي كونتها الحياة على الارض (1973).

تمتد الحياة باستمرار من لحظة ظهور اول خلية حية على لوجه الارض
 وتعبر عبر العصور والظهور بلا انقطاع الى جميع سلالاتها الحية وقيد
 تاملت المعلومات الحية التدوة في حيوط قرويات الدنيا بتراكم معلومات من
 جيل الى جيل في تطور بطيء على الدوام منجزة من هذا من الطفرة ومكتسبة

مخيمات بيديدة متوجة دائما وايضا تحر اشكال افضل وارقي من النباتات
 والحيوانات
 جميع السلالات الحية المتواجدة اليوم لها نفس الصرجينا او تكوينها
 ولكنها لم ترق جميعها على سلم التطور الى نفس المرتقات . فهناك الاحاقير
 البالية وهي نباتات وحيوانات لا تزال متواجدة بدون تحقيق أي تغيير يذكر
 من انسلاتها الاحتورية . ونجد الكوسج اليوم قد بقي جوهره بنفس حاله
 دون قد تغير طوال السبعين مليون سنة الماضية ، والسرطان الحدي يتواجد
 اليوم بنفس حاله بدون تغير منذ اكثر من مائة وثمانين مليون سنة
 ولم يتحقق العراصير والعقارب والالبيات الارجل والتوتني او التوتيلاس
 (mollusk) أي تقدم خلال عديد من مئات الملايين من السنين . كانت شجرة
 الباليك (moss) مزدخدة في الصين في عصور الدينوسور ، الا انه في عام
 1958-59 انسلت بعض الحائدي السلك على مقربة من سواحل جنوب غرب افريقيا
 سكة غريبة في شباكهم لم يبق لهم ان راوا مثلها قط . وكانوا على صواب
 في ظنهم فان تلك كانت السكة من فصيلة سلاكات اللاحشوية (coelocanth)
 التي التي جوجها الخراف الياليوتولوجيون بين الاطراف التي افترشت قبل مائة
 وخمسين مليون سنة .

تمتد الاحاقير الحية الى حتى اعق اشكال الحيات قبل خمسة عشر (15)
 عاملا قام ساغورد سينغل (Sanford Siegel) وهو خبير نباتي من جامعة هاواي
 بزيار قارة غابرة الى قلعة هارليك بمقاطعة ويلز بريطانيا حيث لاحظ ان السياح
 هناك يمارسون عادة قد وقرها الزمن متحدة من ايام العصور الوسطى . كان
 هؤلاء يتركون على تقليد طريقة فرسان تلك الايام او على الاقل طريقة
 الجحود القامئين بالحراس أي انهم كانوا يتخذون حول جدران القلعة
 ويوشلون عليها . كان سينغل يعمل منذ عدة سنوات بدعم من ادارة الوطنية

للفضاء وعلوم الأجواء الأمريكية (NASA) في تحرير المتعضيات المجهرية المتواجدة في البيئات القاسية والتي يمكن ملاقاتها في الترحال الفضائي ، وبما أن الأمونيا مكون رئيسي لجو المشتري (Jupiter) ، وربما كانت منتشرة في الأرض البدائية ، فقد جاءت تلك المنطقة ضمن البيئات التي شملتها دراسته ، وذلك لأن التربة المبلعة بالبول تشكل بحالة طبيعية عالية المحتوى من الأمونيا .

عاد سيفل إلى بلاده يحصل عينات من التربة جمعها من الأرض المحيطة بالقلمة ، وعاول زرعها (culture) في هيدروكسيد الأمونيوم المركز (ammonium hydroxide) ، كانت أغلب المتعضيات لنمت أو تنمو إلى حد كبير في ذلك الوسط ، إلا أن سيفل لاحظ واحدة تنمو في عناقيد مجهرية من الشكل نجمة ملتصقة بسيقان رفيعة ، لم تنطبق عليها أوصاف أية متعضية حية معروفة ، رغم أنها تشابهت كثيرا بأحفورة مجهرية لما قبل الكمبري كان بارغورث قد اكتشفها في طبقات حجر الصوان الوري البافية من العصر التي (٢٠٠٠) مليون سنة الكائنة في كاكابيكيا بمقاطعة أونتاريو بكندا ، وأطلق عليها اسم كاكابيكيا امبريلاتا (Kakabekia Umbellata) .

فلن سيفل أنه قد وجد أحفورة مجهرية حية تعيش على الأمونيا ، ورغم أنه كان قد جمع عيناته الأولى من قلمة هارليك فقد بينت الدراسات التي قام بها هو وزوجته برباره (١٩٩١) أن حاجة المتعضية إلى الأمونيا لم تكن مطلقة ، كما قد تم العثور على المتعضية في أترية الأسكا وإيسلندة ومناطق مختلفة من جبال الألب حيث البيئة عالية بالقلوية منخفضة بالأمونيا ، لا تحتاج هذه المتعضية إلى الأوكسجين ، لكن على تقيض أغلب البكتيريا اللاهوائية ، لا تنمو بمفردها ، وأطلق على اكتشاف سيفل الذي ربما هو نسيب حي لأحفورة بارغورث من أواسط العصر البرونزي واسم كاكابيكيا بارغورثيانا

• (Kakabekia barghoorniana)

ورغم أن السيانو بكتيريا واسعة الانتشار فربما انها قد بقيت جوهريا بنفس حالها منذ ما لا يقل عن ألف (١٠٠٠) مليون سنة خلت . كما أن الميكروبات اللاهوائية التي سادت طوال الألفي (٢٠٠٠) مليون سنة الأولى من ظهور الحياة وقبل تواجد الأوكسجين الطليق في الجو بأية مقادير ملموسة قد تمكنت من البقاء معنا في نقر مستورة وتمثلها اليوم بكتيريا الكلوستريديا (clostridia) التي تعيش لتعدينا بالكزاز (tetanus) والتسمم الرصاصي (botulism) وغنغرين الغاز (gas gangrene : تعفن الجرح بالغاز) . وتعثر الكلوستريديا ، التي تنقصها حتى السيتوكروم سي ، واحدة من أشكال الحياة الأكثر بدائية على الإطلاق . حتى البكتيريا الضوء تمثيلية ، وهي الميكروبات البدائية التي تملك القدرة على تمثيل المادة العضوية من ثاني اوكسيد الكربون في بيئة لا هوائية باستخدام كبريتيد الهيدروجين كمصدرها للهيدروجين وتحتاج فقط إلى حامض الخليك والضوء وبعض الفترات ، قد واصلت البقاء حتى اليوم كواحدة من أقدم أشكال الحياة على الأرض .





الشكل ٧/١٠ - بكتيريا كاكابكيا بارغونيانا من ويلز .

Figure 10.6. The gatehouse at Harlech Castle.
Figure 10.7. Kakabekia barehoorniana from Wales

ولكن رغم ان الأحافير الحية تبدو منجمدة في الزمن بينما تواصل النباتات والحيوانات الأخرى تطورها الدينامي، فإن الأمر ليس كذلك في الحقيقة. إذ حتى جينات هذه البقايا المتينة من الماضي السحيق قد مرت بالتبدلات الطفرية بنفس وتيرة جميع السلالات الحية الأخرى. انما لكي تحافظ على شكلية لا متغيرة يبدو أنها قد تعرضت لفعل متواصل من الانتقاء الطبيعي طوال المئات وحتى الآلاف من ملايين السنين فيما تدفق من خلالها سيل متواصل من التغيرات الجينية المحايدة تقريبا متحالة (transform) جزئياتها المعلوماتية الى حد كبير.

جميع المتعضيات الحية تحمل ضمن بنائها البيوكيميائية آثار الأحداث التي أفضت الى تقدم الحياة طوال الثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة الماضية. وعلى نقيض السجلات او الآثار الأحفورية التي تركت العديد من الفروع قد أصبحت دريا أو طريقا مسدودا، ان البقايا الكيميائية الاثرية في جميع الكائنات الحية منحدره من أجداد سلالية مباشرة . فاستخدام طريقة النشوء الجزئي أسلوب ثمين للغاية، وبواسطته يتمكن العلماء عقلا من حلم قديم طالما رنت اليه نفوسهم، ألا وهو اكتشاف مسيرة نشأة الانواع حتى أول بداية الحياة بذاتها.

الفصل الحادي عشر - نوعان من الحياة

يوجد فرق هائل بين البروكاريوت واليوكاريوت من حيث التنظيم البنيوي والمطاوعة البنيوية . فمن جهة نجد أن البروكاريوت تضم عمليات تآيضية في غاية التنوع انما مع ذلك في الجوهر مجرد رزم من الكيميائيات تقوم ذات قطر بكتيري عشرة اضعافه في البروكاريوت وبحجم اكبر بالف (١٠٠٠) ضعف، وهي مبنية من وحدات خلوية فرعية مغلقة في أغشية دهنية تقوم بعمليات بيوكيميائية نوعية مستقلة نسبيا عن بقية الخلية . وفيما تتكاثر البكتيريا بمجرد استنساخ الدنا المفرد الانشوطه فيها الذي يعوم في السيتوبلازما، وتنفصل بالانشطار فيحمل كل نصف منها انزيات سيتوبلازمية لمواصلة أنشطته الخلوية، فإن اليوكاريوت تملك مادة جينية أكبر بالف (١٠٠٠) مرة موجودة في نواة مغلقة منفصلة عن السيتوبلازما وتتكاثر بواسطة آلية الانقسام الفتيلي الدقيقة المعقدة.

بالنظر الى الطبيعة الأكثر بساطة للخلية البروكاريوتية فانه من المعقول الافتراض أن اليوكاريوت قد نشأت عن البروكاريوت، ألا ان النشوء لم يترك لنا أية آثار نهتدى بها في تتبع مراحلها . كما توجد فجوة انتقالية بين هذا الصنف من الخلية وذاك، فهما مجردان أشبه بنوعين مختلفين من الحياة.

ولا يتجاوز هذه الفجوة في الاستمرارية بين اليوكاريوت والبروكاريوت الا الهوة التي تم ربطها وتوصيلها لغرض إبراز المتعضيات الحية الاولى الى الوجود . كانت هذه قفزة بيولوجية تعادل أو تفوق الطفرة الانتقالية من المتعضيات اليوكاريوتية الاحادية الخلية الى الحيوانات المتعددة الخلايا

والأصل في وقت في حين ما في الماضي السحيق. قبل تواجد الثيران والحيوان
بمن طول. أثناء ما كانت الأرض تغير خواصها وتتخذ ملامحها القوية لمبدأ
اليوم. فما الذي حدث في ذلك الزمن السابق التاسع. قبل العقب الكبيرة
يرجع طول. في عالم الميكروبي. وانضم الى اختلاق شكل جديد من الحياة
الى الخلية اليوكاروتية.

من منذ ظهور الالكروني بصر العلماء البيولوجيين من تكيرة غير
الف (١٠٠٠) مرة الى اخرى قدرها مائة (١٠٠) الف وضع في البؤرة المعدل
النتيجة لكثرة في البية الميكروبية. فتكيرة قدرها عشرة (١٠) آلاف مرة
يسكن دائرة التكيرة المكية ستيلوكوكس (*Staphylococcus*) تتحرك بسرعة
وسط مروي (*Staphylococcus aureus*) وتكيرة قدرها ستة وعشرون (٢٦)
الف ضعف نمو قصبة السل المجاهي (*Mycobacterium tuberculosis*)
كلون كامة البريدلا من البية دقيقة. أما تكيرة قدرها مائة (١٠٠) الف
مرة فانه يسكن بالكثرة الجزرثان العلاقة للخللا لجورد هباءات مغوش
لا شكلية (*Streptococcus*). فقد على المجر الالكروني اصابة غير مراحيل
أهم مستويات الحياة الى عتبة عالم الجزرثان الكيميائية.

وكان الخلية البكتيرية شكل الحياة الذي يوصل العالم البيولوجي
بالرسالة التي تلوح بضرورة من العصر اللامحسوس للفرات ومخلوقة تها.
الميكروب المعنوية. وهي تنساق كروية تسمى بالكوكس (*coccus*)
أبج غيبة. يبلغ طول قطرها حوالي اثنين (٢) ميكرومتر رغم ان التقسيمات
العمودية الشكل (*bacillus*) يبلغ طول قطرها حتى عشرة (١٠) ميكرومتر. أما
النوع الاسفر فهو الميكوبلازما = *Mycoplasma* جنس من التقسيمات
البحرية اسفر من البكتيريا واكبر من الفيروس التي يبلغ طول قطرها (٠.١٣٥)
من الميكرومتر. لكن هذا الطول بحدوده أكبر من قطر ذرة الهيدروجين بانف

والإمالة وخسین (١٣٥٠) مرة.

على ما يظهر ان البكتيريا هي أصغر المنظومات البيولوجية التي يمكن ان
تصل كوحدة مستقلة بذاتها، ودرجة صغرها صعبة التصور للغاية، وتوجد
على جسم الانسان وفي باطنه أعداد من البكتيريا تفوق مجموع أعداد البشر
على سطح الأرض، ويسكن أن تتضمن ملعقة شاي من التربة آلاف الملايين منها
بالعرف، وأربعمون ألفا منها جنبا الى جنب تمتد فقط بطول بوصة واحدة.
لكن صغر البكتيريا، من جهة أخرى، يخفي فعاليتها، ذلك لأنها بالغة التعقيد
للغاية في الدور الذي تلعبه في النطاق الحيوي من جو الأرض = biosphere
جو سطح الأرض الذي تواجد فيه الاحياء).

ورجع نجاح البكتيريا الى عملياتها التآيضية المتنوعة للغاية. جميع
التعضيات الحية تملك انماطا تآيضية أساسية معينة مشتركة، لكن البكتيريا
لا تضاهي في تنوع بيوكيميائها، وبوسع الانواع البكتيرية أن تستمد الطاقة
بأكسدة مواد متضاربة مثل الامونيا والكبريت والحديد والنترات (*nitrites*)
ينما يوسع بعض البكتيريا تشيل جميع متطلباتها الخلوية مثل جملة البروتينات
بأكملها والكربوهيدرات والدهون والحوامض النووية، وذلك من املاح
لا عضوية بسيطة والامونيا وثاني أكسيد الكربون والماء.

لقد اطلعت هذه التطاوعية للبكتيريا أن تمتد وتنتشر في بيئات تعجز
اشكال الحياة الأخرى عن بلوغها الى حد كبير. فقد وجدت البكتيريا تسو
في درجات حرارة تبلغ (١٢-١٠٠°) ماثرة في مياه الينابيع المغتلية في نيوزيلندة
وايسلندة، وفي المياه القطبية في درجات حرارة منخفضة حتى (١٢°) مئوية
تحت الصفر. كما تعيش البكتيريا والطحالب في بحيرة الملح الكبرى وفي البحر
الميت حيث تبلغ نسبة محتوى الملح (٢٩٪)، وتعيش ايضا في المستقعات
السبخة وفي الينابيع والبحيرات المالحة من حوامض شديدة.

تتجسّد البكتيريا في نطاق صغر حجمها بفضل الضغوط الانتقائية المستفيدة من مستوى حياتها. جميع التعضيات تتناول الغذاء لغرض النمو وتقوم بتحلل الفضلات الأيضية، وفي المستوى الميكروبي يتحتم أن تمر هذه المواد من خلال الغذاء الخلوي، ولما كانت العمليات الحياتية منحصرة في حجم محدود فإن وتيرة هذه التفاعلات تتوقف على مدى سرعة قدرة الخلية على امتصاص هذه المواد والتخلص من نفاياتها. بما أن نسبة السطح إلى الحجم تتزايد كلما انتقص الحجم فإن للصغر فوائد واضحة متميزة. تبلغ نسبة السطح إلى الحجم لدى حوالي العشرين (٢٠) ينما تتضاعف في البكتيريا إلى تسعة (٩) ملايين. وهذا هو سر حيابة البكتيريا والخمائر والميكروبات على وتيرة تايض هائلة. فيوسع خلية البكتيرة أي كولي (E. coli) عند وضعها في قمع خياطة من المرق الغلثاني أن تتضاعف ألف مرة في غضون ثلاث ساعات، ويمكنها أن تطلق آلاف الملايين من النمرة خلال يوم واحد، وإذا أمكن لادامة التوتيرة فيوسمها أن تغطي الأرض بأكملها في ظرف ثلاثين (٣٠) يوما.

أما في النهاية السطلي من معنى مقاسها فتتجسّد البكتيريا في حجم يمكن لينتقل على المعدد الذرة من الجزئيات لتكون معه خلية وظيفية. ومع تزايد حجمها يصبح اتساعها أو تكاثرها معوقا بانتقاص وتيرة التايض، إنما يعود هذا على الإحصى إلى محدودات مواردها من الطاقة. والبكتيريا عوامل تخيرية. باستثناء بضعة استثناءات. فهي تقوم بتحلل أو تجزئة المواد لغرض استمداد الطاقة الكيميائية منها. غير أن التخر مصدر منخفض الموردد للطاقة، والتعضيات التي تعتمد عليه كوسيلة الوحيدة لتوفير الوقود لعملياتها التفاعلية تبقى محكوما عليها إلى الأبد في مستوى منخفض من الوجود.

ومثلا للصغر منافع فانه للكثير منافع أعظم إذا ما تمكنت التعضيات من توفير التركيز الذرة من الطاقة لتغذية الحجم الأكبر والتعقيد التنظيمي المزداد.

وعندما نوافق الظروف لتواجد شكل حياتي خلوي أكبر نشأ هذا ليتبوا مكانه في العالم الحي. نوال التي (٢٠٠٠) مليون سنة متواصلة كانت البروكاريوت شكل الحياة الوحيد في الوجود، إنما في أثناء تلك الفترة الطويلة غلبت البروكاريوت على خلق الأحوال الملائمة لتسكن الحياة من الارتقاء إلى حجم أكبر وتنظيم أكثر تعقيدا. لقد خلقت، بتوحيها المضارب، تنوعا واسعة من المسالك الأريسية فيما بينها، وبمنس الآباء أضحت الطحالب الخضراءرقاوية في البيئة ما يمكن من الأوكسجين لانتاجه أكسدة الغلوكوز كليا إلى ثاني أوكسيد الكربون والماء بواسطة عملية التنفس. أقر البيولوجيون في القرن الماضي بتواجد صنفين خلويين من الحياة، لكن العلاقة التثوية بينهما بقيت مجهولة. وكذلك بقيت مسألة كيفية تحقيق المرحلة الأكبر والأكثر تعقيدا من الحياة من خلال النشوء التطوري أمرا تحديسيا صرفا حتى الآونة الأخيرة.

لقد تمكن الميكروبيولوجيون في القرن التاسع عشر من رؤية اختلاف الخلايا اليوكاروتية بحجبا وأورغانياتها المعلقة بالأغشية عن الخلايا البكتيرية الأصغر منها. ولكنهم تعذر عليهم رؤية التفاصيل البنيوية الدقيقة التي كشف عنها المجهر الإلكتروني فيما بعد. مع ذلك، فقد كان بوسعهم أن يدرسوا المكونات الخلوية الفرعية (subcellular) المخضبة والمصبوغة، وقبل مائة عام كان أي أف ديليو شيمبر (A.F.W. Schimper) أحد الخبراء النباتيين الذين اكتشفوا أن الجبيلة اليخضورية (chloroplast) لا يجري تشكيلها جديده وإنما يتم انتاجها بالانقسام^(١). يبدو أن شيمبر كان أول من لاحظ أوجه الشبه بين وبين الطحالب الخضراءرقاوية الطيقة العيش. والميتوكوندريا. كالجبيلات لليخضورية. أيضا تتكاثر بالانقسام. فقام بروفيسور التشرح بجامعة لايزنغ ريتشارد ألتمان^(٢) (Richard Altmann) في عام ١٨٩٠ بطرح

فرضيه بأن هاتين الجسيمتين شبيهتان بالبكتيريا ، وانهما في الواقع تعايشيتان (symbiotic) . ان الاختلاف بين صنفى الخليتين كبير لدرجة ان البروكاريوت تكاد لا تتجاوز في الكبر حجم الوحدات الخلوية الفرعية لليوكاريوت. غير ان فكرة كون الميتوكوندريا والجيلات اليخضورية خلايا بكتيرية الواحدة ياطن الأخرى جوهرت بنقد واسع آنذاك وأهملت في النهاية.

بعد ذلك بمشرن عاما قام ميريشوفسكي^(٣) (K.C. Mereschkowsky) في روسيا بتطور فكرة الأصل التعايشي للأورغانيلات لكن أفكاره بقيت في معظمها مجهولة للعلماء خارج روسيا بسبب حاجز اللغة، ثم في العشرينيات من هذا القرن نهض البيولوجي الأمريكي إيفان والين^(٤) (Ivan Wallin) من مدرسة الطب بجامعة كولرادو بقوة عن الفكرة بأن الجسيمات الصغيرة الكائنة في باطن الخلايا اليوكاريوتية كانت تعايشية ومن أصل بكتيري. رغم ذلك، لم تجتذب هذه الفكرة اهتماما يذكر حتى عام ١٩٦٢ عندما أعلن هانز ريس (Hans Ris) ووالتر بلاوت^(٥) (Walter Plam) من جامعة ويسكونسن عن اكتشافهما للدنا في الجيلات اليخضورية . ثم بعد عامين من ذلك تم اكتشاف الدنا في الميتوكوندريا المأخوذة من النباتات والحيوانات^(٦) . وعلى حين غرة تم اقرار خاصية جديدة وبالغة الأهمية للخلايا اليوكاريوتية. فعلى نقيض البروكاريوت التي تحتوي على جزئية واحدة فقط من الدنا، وجد ان اليوكاريوت في الواقع تتضمن مراكز جينية عديدة ، أي انها بولي جينومية (polygenomic) .

لم يكن الدنا موجودا فقط في الجيلات اليخضورية والميتوكوندريا ولكنه كان أيضا مغلفا في انشومة مغلقة مثل الدنا في البكتيريا . اوحى هذا بقوة الى ان هذه الجسيمات دون الخلوية (subcellular) كانت تمتلك خواص التماسخ الذاتي اضافة الى قدراتها على تشيل البروتين. وفيما تبقى البروكاريوت

كوححدات فردية مثلة للبروتين ، وجد ان اليوكاريوت تتألف من عدد من الوحدات المنفصلة تقوم بتشيل بروتيناتها الخاصة بها. وعند المزيد من التحييص وجد ان الطحالب الخضزررقاوية ، والميتوكوندريا ، والجيلات اليخضورية جميعها تملك بثنى رهييفية ماثلة ومستقلة عن الغشاء الباطني للخلية، وجميعها لها دنا وأنزيمات، وصبغات شبه جزرنية (carotenoid) ، وسيتوكرومات ، وغيرها من المكونات المشتركة للقيام بأنشطتها ، وجميعها تنقسم وتملك خاصية التبدل الطفري والتطور.

دلت الشواهد بقوة على ان اليوكاريوت لم تنشأ من البروكاريوت بطريقة الاتساع البسيط في التعقيد من خلال التمدد والتبدل الطفري في موادها الجينية ، انما بالأرجح حصل شيء ما، أما فجأة أو أثناء فترة انتقالية طويلة ، جمع بين عناصر متنوعة من العالم البروكاريوتي في اتحاد دائم ومتمام لدرجة انه خلق شكلا جديدا من الحياة.

كان العالم الحي في الاحقاب الاولى والوسيلة من الدهر البروتيوزوي مبتيا على أسس العمليات الانتقائية مثلما هو اليوم . وكانت المتعضيات البروكاريوتية تشحذ قدرتها من خلال التبدل الطفري ، وتطور أنواعا مختلفة شتى لتسع الى أقاصي محدداتها البدنية ، وتعزز مكاسبها بواسطة التخصص. ولم يقتصر هذا الاتساع على المحيط الهامشي للبيئة الملموسة ، انما كشأن جميع مراحل النطاق الحيوي أو اليوسفير (biosphere) ، كان العالم البروكاريوتي مزدهرا بالتبعيات الشكلية المورفولوجية والغذائية . كانت الاوتوتروف الضوئية والكيميائية (photo-and chemoautotroph) لوحدها هي التي تستطيع فقط استدرار متطلباتها العضوية من المواد اللاعضوية الصرف دون غيرها ، بينما اعتمدت جميع الاحياء الأخرى في تحصيل قوتها اما على التطفل والافتراس أو على الفضلات الايضية من الأخرى، وانتشر

التطفل والافتراس والتعايش التبعي على نطاق واسع في جميع انحاء النظم الحيوي.

ان التعايش أو التعايش التبعي هو اشتراك متعضيتين اثنتين أو أكثر في علاقة نوعية للغاية مبنية على الاعتماد أو التبعية المتبادلة ، ويمكن أن يتكون الترابط من مجرد علاقة طارئة الى اتحاد الترامي حميم . تحصل العلاقة عادة في الطبيعة في ظروف قاسية فوق العادة تتجاوز نطاق تحمل خزين المتعضية الواحدة من الانزيمات . ومن الامثلة الشائعة على هذا هو الحزاز (lichen) الذي يعيش في أماكن قاحلة مجذبة فوق طاقة الطحالب (algae) ، وشحيحة بالاغذية العضوية فوق طاقة الفطريات (fungi) . وبالنسبة يضطر الحزاز القشري الناشف الى الاغذاء كمؤلف شبه نباتي (plantlike composite) حيث تحببك الملايين من خلايا الطحالب الخضزررقاوية في طبقة قاعدية تكون من شعيرات لحدى الفطريات تبدل فيها الاغذية بالتبادل بين المتعاشيتين .

تشا العلاقات التعايشية بين متعضيات من جميع الاحجام وجميع الاصناف والانواع . تعيش البكتيريا في المسالك المعوية للحيوانات ، وتستوطن الفطريات بالتعايش مع الطحالب ، وتقريبا كل سكة من نوع قنديل البحر (starfish) وقنفذ البحر (sea urchin) تملك تعايشة ميكروبية واحدة أو أكثر . وبين النباتات والبكتيريا يتم تثبيت النيتروجين في جذور البقوليات الكمبرية ، وهي عملية يعجز أي من المشاركين القيام بها بمفرده . كما ان التعايش (sybiosis) بين البكتيريا أمر عادي شائع ، ولاسيما في البيئات اللاهوائية . في غياب الاوكسجين يكون تجرد (degradation) المواد العضوية بطيئا ، وفي الغلب تستلزم جملة تحلل المواد العضوية الى منتجات غازية جهود أكثر من نوع بكتيري واحد لانجاز التجريد الانزيمي التام .



فاذا كانت النظرية التعايشية تفسر الفجوة أو حلقة الصلة الاستمرارية المفقودة بين النوعين من الحياة ، فلا بد أن الالبات عليها يكمن في الشواهد الكيميائية والبيولوجية التي تربط هذه الاجزاء من الخلية اليوكاريوتية المعتقد بانها تعايشية الاصل وتوصلها بوجودها السابق كمتعضيات طليقة العيش . فلا بد أن الاورغانيلات التي كانت تعايشية كانت في زمن سابق لذلك متعضيات طليقة العيش وكانت لتلك كحد أدنى جزئية الدذا ورذا رسول وجهاز لتمثيل البروتين بما في ذلك الرذا الناقلة مع انزيماتها وريبوسوماتها وما تتضمنه هذه من البروتينات والحوامض النووية ، ومصدر لثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP أنت ب) ، وجهاز لتمثيل اغشية الخلية . ولا بد انه حصل اتقاء للتخلص من الفوائض أو الزوائد عند دخول تعايشة في خلية مضيفة . وعليه لربما أن التعايشة في باطن الخلية فقدت ، أو لم تفقد ، كل آلياتها للوجود المستقل باحالة وظائف التأيض الاساسية الحيوية الى عائق المضيفة . لذلك ينبغي أن يكشف التحصن على المواد الجينية في الاورغانيلات المعاصرة عن أدلة تبين الخواص المسبغة على المضيفة وترجع بنا الى الطبيعة الخاصة بالتعايشة العتيقة .

فضلا عن ذلك ، بالنظر الى السلوك التحفظي للشوء البيولوجي ، فربما لا يزال يوجد في الطبيعة امثلة من النظائر الطليقة العيش الطبيعية الحصول للسلالات المزامنة (codescendants) لتلك المتعاشيات تحمل نفس الصفات

الجينية والفيولوجية ، التي قد تمكنت من البقاء حية في عالم متغير . وتأتي الجيللة اليخضورية للطحالب الخضراء والنباتات كالمرشح الابرز والاكثر احتمالا للاورغانيلة المنحدرة من اصل تعايشي ، لأنها تبدو كالبروكارايوت الضوئية التمثيل . وهناك امثلة كثيرة للمتعضيات اللاضوء تمثيله التي تقوم باستغلال الجيللات اليخضورية في أشياء أخرى . فبعض المتعضيات تستمد الجيللات اليخضورية من الطحالب لاتمام انتاجها من الطاقة ثم بعد ذلك تبذلها أو تهضمها عندما تنتفي حاجتها منها . كما ان البطليونية أو البزرحونة العملاقة



(giant clam) تغذى جزئيا من الطحالب الضوء تمثيلية المائنة بين خلايا غطائها، وتقتي بعض البزاقات البحرية (sea slug) الجيلات اليخضورية بالاقنيات على الطحالب التي تعيش بعد ذلك مستقلة في باطن البزاقة وتقوم بعملية التركيب الضوئي لنفسها ولمضيفها ايضا^(٧). ومن بين الميكروبات نجد الميسينية السوطية (euglena) الضوء تمثيلية المألوفة التي تضم جيلات يخورية لها قيمتها اثناء الاضاءة ولكنها ليست جوهرية للحياة . وعند زرع المتعضية في سائل من البسيلن تنوكة عن انتاج الجيلات اليخضورية وتغدو غير متميزة الفينيات الاولى الماجزة عن الانتصاب او الوقوف (protoan Astasia) العادية .

ربما كانت الطحالب الخضراء اول اليوكاريوت التي نشأت مع هذه الاورغانيلة قبل حوالي الف (١٠٠٠) مليون سنة خلت عندما اقتنت سلالات اليوكاريوت السلالية الجذ متعايشة ضوء تمثيلية . ثم نشأت الطحالب الحديثة والنباتات الاعلى الاخرى منها، بينما اقتنت سلالة اخرى من اليوكاريوت الاولى الى الاحياء الاولى (protozoa) والنطريات والحيوانات الاعلى .

تبدي الجيلات اليخضورية فردية ذاتية ملحة على الدوام ، ربما لأنها لم تكن قد اقتنت كمتعايشات الا مؤخرا نسبيا ، فهي تملك خاصتها من الدنا والرنا الرسول وجهاز لتثيل البروتين وريوسومات حساسة للمضادات للحوية التي تؤثر على البكتيريا . تتضمن جيلات الحشفيات الاحادية البرعمة من الطحالب الخضراء (chlamydomonas) تدوينة (coding) لعدة مئات من البروتينات . وذلك على تقيض الميتوكوندريا التي لا تتضمن اكثر من حوالي جزء من عشرة من تلك السعة^(٨). مع ذلك، فقد قامت الجيلات اليخضورية بتحويل بعض من معلوماتها الجينية الى صبغوسومات المضيفة

منذ دخولها في العلاقة معها، وذلك لأنها الآن تحتاج الى مشاركة الجينات النووية والجيل يخورية للتكاثر .

اذا كانت الجيلات اليخضورية متعايشة بالتعايش فانها ينبغي ان تكون لا تزال تعمل آثارا من اسلافها البروكاريوتية . قام فورد دوليتل^(٩) (Ford Doolittle) من جامعة دالهاوس بهاليفاكس في نوفاسكوشيا بمقارنته اوجه الشبه في الرنا الريبوسومية من الاورغانيلة الضوء تمثيلية للطحلبة الحمراء بورفيريديوم (porphyridium) او فرفيريديومة مع تلك الموجودة في سيتوبلازمتها ذاتها ومع نفس الرنا من الطحالب الخضزررقاوية والجيلات اليخضورية للنيسينية ، ووجد ان الاورغانيلة كانت اقرب اتسابا الى المتعضيات الاخرى ما كانت للطحلبة الحمراء ذاتها التي كانت هي جزء منها . ان الطحالب الخضزررقاوية والكلوروكسي بكتيريا (chloroxybacteria) نظائر طليقة العيش للجيلات اليخضورية وربما ان الجد السلالي للاورغانيلة كان يشبه هذه المتعضيات الضوء تمثيلية .

ان الميتوكوندريا هي الاورغانيلات التي تبدو اكثر عتاقة من الجيلات اليخضورية ، وذلك لأنه لا توجد طحالب او نباتات بدونها . فإذا كانت الميتوكوندريا منحجرة من متعايشة فلا بد ان جدها السلالي كان ميكروبية لا ضوء تمثيلية تعتمد كليا على الاوكسجين للتأيض . كانت البكتيريا الاخرى تقوم بعملية التخمر (fermentation) لكن سوانق الميتوكوندريا كانت قد نشأت كهوائية تقتات على الفضلات النلفة الناجمة عن عمليات تجزئة الكربوهيدرات من قبل متعضيات اخرى . وربما انها بالاصل كانت قد وجدت هذه المواد في البيئة ، انما في الاخير دخلت في علاقة تعايشية مع خلية مضيفة لتقتات على باطنها الفني بالغذاء . وفيما عاشت الهوائية الصغيرة في الزراعة agriculture

الغنية بغير المضيئة وتتمت بحمايتها أخذت من جانبها عند مضيقها بالتوجات الطقوة الزائدة من قايضا، الى ان في الأخير أدى الانتفاخ الطبيعي الناتج للتوافق والزوال بين المضيئة والهوائية الى الانقسام المتبادل واصبحت الميتوكوندرية عاجزة عن العيش مستقلة خارج الخلايا اليوكاروتية، كما تعذر على الخلايا ايضا البقاء في الحياة عند حرمانها من ميتوكوندرتها.

لقد اعتنقت الميتوكوندرية بخاصتها من الدنا والرنا الرسول والرنا الناقل والريبوسومات . وسلك الدنا وزوا جزئيا بقدر عشرة الى مائة (10-100) مليون وحدة كلية ذرة (zinc zinc zinc)، لكن هذا لا يكفي لتكوين لجيع البروتينات في الميتوكوندرية⁽¹¹⁾. لذلك، تخطت الميتوكوندرية عن سيطرتها الجينية للجنومة النووية وبذلك أصبحت متعاضدة مرغة تعتمد على التوجات التي تقوم الخلية المضيئة بتشيدها.

أما اذا كانت الميتوكوندرية من اصل بكتيري فينبني هي ايضا أن تشبه البكتيريا المضيئة العيش الموجودة بين البكتيريا في يومنا هذا . وربما أن التعضية المعاصرة بداراكوكلس ديتريفيكانس (*paracoccus denitrificans*) وهي بكتيرة عسوية الشكل تقوم بأكسدة متوجاتها التخيرية كليا الى دي نوكسيد الكربون والماء⁽¹²⁾، كانت سليمة مزمنة للميتوكوندرية وانحدرت من نفس الجد الأعلى. عند مقارنة الجهاز التنسي لهذه الهوائية مع نظيره في ميتوكوندرية الحيوانات والخميرة وجد أن شبه كان باهرا . فالكوبونات والميتوكرومات (*cytochrome oxidase*) المأخوذة من أجهزتها للنقل الالكتروني متقاربة شبه كيرا. غير أن البكتيرة تختلف بآلياتها على جدار خلوي وقدرتها على اختزال الترات الى ترات (*nitrate to nitrite*) وبمقارنها الى جهاز نقل الأتوب (ATP)، ينما الجدران الخلوية والاختزال

التراخي فائضة عن حاجة التعاضدة بباطن الخلية وكان سيتم بنفعها بالانتقائي الطبيعي. أما جهاز نقل الأتوب، من جهة أخرى، فلم يكن ليتواجد في هوائية مطلقة ولكنه خاصة ضرورية للميتوكوندرية، لذلك فربما أن هذا الجهاز تشامع التعاضد.

وما نوع التعضية التي كانت تتمتع هوائية مطلقة العيش الى باطنها في مصبة تعاضدية طالما يمكن اعتبار السيتوبلازمية كباطن الخلية المضيئة فانه يبدو أن الخلية المضيئة كانت لا هوائية ذات مسلك ايسدق - ماير هوف (*Embden-Meyerhoff Pathway*) تخير الكربوهيدرات . يتم تدوين الاقربيات السيتوبلازمية في الدنا النووي، ولذلك فإن النواة ايضا مشتقة من الخلية المضيئة . توجد حول نواة الخلايا اليوكاروتية ثلاث سمات بارزة تميزها عن الدنا البروكاروتي، فالمادة الجينية مرتبة في الميفوسومات، والنواة مغلفة بغشاء دهني، ويتم استساخ النواة بطريقة الانقسام القليلي. فربما أن إحدى هذه السمات أو جميعها تلقي انصرا، على طبيعة الخلية المضيئة السلف.

تختلف المادة الجينية اليوكاروتية ايضا بكونها متواشجة مع البروتينات الاساسية أو القاعدية . بدنيا، تقاوم جزئية الدنا التبعة أو الرزم لأن مجموعات التوسفات تميل الى الاشتحان سليا فتتأخر بعضها البعض، وتتيح الغشاء النووي محايدة هذا التأخر بالاحتفاظ بتركيز أعلى من ايونات الموديوم الموجبة الشحنة في السائل النووي مما في السيتوبلازمية . كما تعمل مستويات المواد الجينية (*Histone*) بروتين بسيط شديد القاعدية بدر حوامض امينية عند العلماء)، ايضا على محايدة مجموعات التوسفات وتسبب تبيعة متراصة.

اقترح دينس سريسي (Dennis Searcy) والماملون⁽¹³⁾ معه في جامعة

متوسيتي ربما ان اليكولادسة المتوجبة للحرارة والحواس
 اليوكاروتية تلكهذه البكتيرة العديدة الجعرات مسلك ايسلنديا مود
 وروتينات شبه مستوية لوقية الدنا فيها من الحرارة والحواس وسعة
 التحويل في العائرة . غير انه عند مقارنة سبلي التووتيدات في الرن
 الروسوية . يجمع لهذه البكتيرة نفس الرن من متضيات اخرى اذ التحليل
 ان البكتيرة كانت اقرب تشابها الى البكتيرة الاركية ميتاوجنس
 وهارونكيرا . مما هي الى اليوكاريوت المعاصرة . وعبر
 ما يظهر جلت للخلية النقية من صنف آخر من الصنف لو بطريقة اخرى
 من التثوية .

والتيكرو آخر هو ربما ان التواء يفتتها كانت قد بدأت كخلية في باطن
 الخلية النقية . يحل هنا التواء التواء اللازيمات البستولادية وربما
 من المعلومات الحية للارتعيلات من اصل تعايشي مع ذلك فهو مفيد
 يشاء الخاص للتفصيل ما يوحى الى ان التواء ايضا بقية من تعايشة .
 وكان قد اُصغ عن هذه الفكرة البيولوجي الروسي ميرشوفسكي
 (K.C. Mereshovsky) عند منقلب التواء ومعضها كل من جيه غوكسور
 (J. Goksoor) من الترويج . وجيه يكيك هيس (J. Fickel-Hess) من جامعة
 كولرايدو . وايح هارنات (H. Harnat) من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا .
 الا انه اذا كانت التواء تعايشية فان السؤال يبقى مفتوحا حول ماذا حصل
 لهذا التفيفة وكيف اتصح الجهازان .

من جهة اخرى اذا كانت التواء قد نشأت من الدنا اليوكاروتي للخلية
 النقية البستولادية ، ان لا بد ان الدنا اكتسب غشاءه الخاص به في زمن

ما عند تشابه . عندما تنقسم الخلايا البروكاروتية يلتصق الدنا فيها
 وتنفذ بالفشاء التام ويذهب كل منها مع نصف الخلية الخاص به عند
 انقسامها . ولا يستبعد ان يكون الدنا في بكتيرة سلف قد التمس بالفشاء
 ثم انفصل في باطن الخلية بواسطة شدلة من الفشاء الخلوي .

كان من شأن اعتماد الدنا في باطن الخلية ان ينجم عن ايسراد مرجع
 لتربية الميفوسوم . وربما ان استساخ الدنا المنزول بواسطة الفشاء
 النووي اتاه للمراحل الاولى من نشوء الخلية اليوكاروتية قبل اتساق التواء
 مع الانتفاة الخلوية الاخرى خلق الامكانية لتعدد الدنا والانتساع المتماجي
 بالمواد الجينية .

توجد مكان للخللايا اليوكاروتية ظاهريا غير متبئين ربما كان لها
 اصل مشترك ، وهما على الاقسام القليلي والجهاز للحركة ، وكلاهما يتم
 في اليوكاريوت بحزم من الالياف تسمى بالتوصيات المجهرية (microtubules)
 واذا كانت البروفسورة لين مرغوليس (Lynn Margulis) من جامعة بوسطن
 صالبة فان كلا من على الاقسام القليلي والوسية اليوكاروتية للتقل نشأ
 من التعايش بين الخلية ما قبل اليوكاروتية وصنف من البكتيرة المعروفة
 بالقولية او القولية الشعيرة (spirochetes) .

بعض البكتيريا مجهزة برائدة شعيرة واحدة او اكثر تتألف من بروتينات
 ليفية لغرض الانتقال والحركة . وهذه الاسواط تمنح الحركة الثقيلة ليس
 بحركة سوية وانما بتقلص ايقاعي او متوازن يتحرك لوليا من خلال السوط
 من نهاية الى الاخرى ، وهذه الطريقة تستطيع البكتيريا النفاة مثل الآي كولي
 (E. coli) من تحقيق سرعات تبلغ (٢٥) ميكرومترا بالثانية الواحدة او ما يقرب
 من واحد من عشرة آلاف (٠.٠٠٠١) من الميل بالساعة الواحدة (١١) .

تستخدم الخلايا اليوكاروتية ايضا تنوءات خلوية شعيرة للحركة .

وعندما تكون هذه التواءات طويلة وقليلة ، مثل ذنب الجينات المنوية ، تسمى بالاسواط ويشار الى المتعضيات بالسوطيات . لكنها عندما تكون كثيرة وقصيرة تسمى بالاهداب (cilia) ويشار الى المتعضيات بالهديات . تتألف الاسواط والاهداب من حزم من الالياف ذوات بنية في غاية الاتساق . يبلغ قطر الواحدة منها (0.25) ميكرومتر وتتألف من ازواج من الاسطوانات الدقيقة (cyclinders) مع زوج آخر من القويصبات المجهرية في الوسط ، مضيئة عليها تضئدة بنبوية في (2+9) ، وبما ان اسواط واهداب اليوكاريوت تختلف بنيويا عن الاسواط البكتيرية المفردة الوهن الاصفر الأخرى ، فانها مصنفة معا تحت عنوان أو اسم المتورات الارجل (audupodia) .

يوجد بين البكتيريا صنف تكون المتعضية فيه مفتولة لوليا . وبمضها ، كالمشولات (vibrios) معقوفة قليلا فقط مثل علامة الفاصلة (،) بالعربية او: وباللاتينية) ، لكن اللوليات (spirochetes) مفتولة لدرجة ملحوظة ، وتتألف ابدانها من اسطوانة بروتوبلازمية مغلقة بغشاء بلازمي (plasma membrane) واللوليات شديدة الحركة للغاية بفضل طولها ورفاعتها ومرونتها ، وتتحرك في الوسط بحركات تمورية متوجة.

يوجد تشابه ضارب في الحركة والحجم بين اللوليات والمتورات الارجل من الخلايا اليوكاريوتية ، ومن انماط السلوك الشائعة لدى اللوليات هو التصاقها بالاشياء والنبض بتوافق متناغم ، وتطرح مرغوليس مثالا فريدا من سلوك اللولية بمتعضية معاصرة ربما يشبه واقعة غيفة حدثت في تاريخ اليوكاريوت . تعيش في المصراان المؤخر (hindgut) للارضة (termite) الاوسترالية متعضية يوكاريوتية تسمى بمختلطة الشعر المحيرة (mixotricha paradoxa) تملك أربعة متورات الارجل . لكن الميكسوترিকা لا تستخدم هذه الزوائد للتقل ، انا تتقل بواسطة نصف مليون من اللوليات الملتصقة بها المتحركة

في تمورات متسقة وتستخدم المتورات الارجل بمثابة دلف (١٧) (جمع دلف) . توحى أوجه التشابه بين اللوليات والمتورات الارجل للخلايا اليوكاريوتية الى ان هذه الاخيرة نشأت من تعايش عتيق للمتعضيات شبه اللوليات مع الخلية المضيفة . على ما يظهر التصقت اللوليات بالخلية المضيفة للاقتيات على الغذاء المتحلب من خلال الغشاء ، وبدورها اسبغت المتعايشات الحركية على الخلية ما قبل اليوكاريوتية (pre-eucaryote) ، وهي صفة كانت لتمنح اليوكاريوت الناشئة ميزة كبرى في البحث عن القوت . كما تفسر النظرية التعايشية ايضا السبب في قدرة المتورات الارجل على الانفصال احيانا من الخلية والسباحة بعيدا هاجرة اياها .

لا تزال الشواهد الكيميائية التي تسب أصل المتورات الارجل الى اللوليات السلف ناقصة قليلة ، انما قد يعود هذا الى أن تعاشرها التعايشي بدأ قبل تماشر الميتوكوندريا والجيلات اليخضورية بزمن طويل جدا . مع ذلك ، فقد تم العثور على الرنا في الحركوسومات (kinetosomes) وهي ابدان خلوية صغيرة تنمو منها المتورات الارجل . وباستثناء الرنا يبدو ان المتورات الارجل لم تعد تتضمن موادا جينية ، بعد ان انتقلت قدراتها التكاثرية والتأضية الى الصبغوسومات النووية اثناء تبعية تعايشية طويلة .

لكن بنيويا تملك المتورات الارجل التضئدة القويصية المجهرية 2+9 المرئية في تركيبة بعض اللوليات ولاسيما تلك الموجودة في نمل الارضة . زيادة على ذلك ، ان حجم الزوائد اليوكاريوتية والبكتيريا اللولية متساو تقريبا . فاذا كانت اللولية سليمة مزمنة فان التعايشة فقدت غشاءها البلازمي اثناء فترة نشوء الخلية اليوكاريوتية .

من المستلزمات الخطيرة لليوكاريوت الناشئة كان التاسخ والانفصال

المنتظمين للدنا النامي لها. لقد أصبح الدنا اليوكارايوتي ألف مرة أكبر من الدنا البسيط في البكتيريا، فطورت اليوكاريوت عملية الانقسام الفيلي لغرض نسخ وتقسيم هذه الترتيبات المعقدة. وعند الإشارة تقوم بدينامات نقطوية دقيقة تسمى بالوكايت أو السنتريولات بالذهاب إلى الأجزاء في الجانب المقابل من الخلية وترسل وشائج spindle = شائعة) للاتصاق بالصبغوسومات ولها على كل نصف من الخلية. تبين نصمة المجهر الإلكتروني لمقطع عرضي من الوكيت أن هذه الأورغانيلة تضم نضيدة من (٩+٠) من القويصبات المجهرية. ويختلف نمطها عن تلك في الثمورات الأرجل فقط بأنعدام زوج من الأسطوانة في المركز.

تقترح مرغوليس^(١٨) أن الآلية الدقيقة المحكمة والعالية القدرة لعملية الانقسام الفيلي كانت قد اكتسبت تعايشا من متعضية حركية ذات النضيدة (٩+٢). وربما كان بين نفس اللولبيات الحركية التي كانت أسلافا لاسواط الخلايا اليوكارايوتية متعايشات دخلت إلى الخلية من خلال الغشاء بلا رجعة إلى الأبد.

أدى اكتشاف الطبيعة البولي جنومية للخلية اليوكارايوتية بالبيولوجيين إلى الإدراك أن الانتقال من البروكاريوت إلى مرحلة أعلى من الحياة لم يتم بالتطور من صنف واحد من الخلية، وإنما من تضافر منها (consortium) لدينا سلف في ماضيها لما قبل الكمبري كان قد تتج عن اندماج العديد من السلالات السلف التطورية. كما أن الطريقة التي تم بها هذا الالتئام بين أصناف متنوعة من المتعضيات هي ظاهرة شائعة لا تزال مستمرة في العالم البيولوجي إلى اليوم. رغم ذلك، لقد كان التعايش الذي أسفر عن اختلاق الخلية اليوكارايوتية فريدا منقطع النظير في مغزاه، إذ أنه اقتحم العتبة التي انفتحت إلى تعاقب سريع نسبيا إلى جميع الأشكال الأعلى من الحياة، بما فيها الجنس

البشري ذاته.

كانت نشأة الخلية اليوكارايوتية باهرة النجاح وانفتحت إلى مجيئنا إلى الوجود. لكن الحياة بقيت مقتصرة على المستوى الميكروبي لفترة ثمانين بالمائة (٨٠٪) من زمن وجودها قبل أن تبدأ النباتات والحيوانات بالظهور فلماذا استغرقت كل هذه المدة الطويلة؟

كانت الأرض قبل النفي (٢٠٠٠) مليون سنة عالما في الانتقال. ومنذ أن نشأت الطحالب الخضراء قاروة مع قدرتها الانزيمية على تحفيز الماء ضوئيا كانت قد بدأت تطلق الأوكسجين في البيئة، لكن لمجرد أن يجري امتصاصه بسرعة في أيونات الحديد الثنائي التكافؤ للبحار الآركية وترسيبه كأوكسيدات غير ذائبة مع السيليكات في قرارات حديدية طبقية. لكن بعد انقضاء ألف (١٠٠٠) مليون سنة كانت «بالوعة الأوكسجين» قد بدأت تفرغ من الأيونات المختزلة. ثم في انبثاق أخيرة من الترسيب قبل حوالي ألف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت انظفت البحار من الحديد الذائب ومعهما بدأ الأوكسجين الجزئي يتراكم في الجو وفي البحار^(١٩). وتركت الأرض أحوالها المنقوصة في العهد العتيق خلفها فيما أخذت تتجه نحو الحالة المؤكسجة (oxygenated) وخواصها الحديثة، ويتناميه حمل الأوكسجين معه ما جعل المتعضيات تتكيف لمفعوله القوي المكن. لقد جاء الأوكسجين بمثابة سم قاتل يحمل معه الموت للأحياء اللاهوائية التي اضطرت إلى الاحتباء منه واتقائه في الأماكن المستورة والبقع الحادثة له. أما بالنسبة إلى الهوائيات فقد حمل الأوكسجين معه وعد الفسفرة التأكسدية (oxidative phosphorylation) وتركيز للطاقة أعظم بثمانية عشر مرة (١٨) من تاج التخمر الهزيل.

يبدو أن اليوكاريوت ظهرت في زمن يقع في حوالي ما قبل ألف وأربعمائة (١٤٠٠) مليون سنة خلت. ومع القوة الدافعة للفلكلة الكلية (total glycolysis)

تمكنت من استمداد الطاقة الكافية لدفع نفسها قدما الى عالم جديد بأجمعه. وفي بحر ستائة الى سبعمائة (٦٠٠-٧٠٠) مليون سنة بدأت اللاحشويات والسك الهلامي والاسفنج بالظهور في البحار مخترقة حاجز تعدد الخلوة، وما ان اقتحت دروب البعد الجديد هذا حتى امتلات بسرعة وفي بحر مائة (١٠٠) مليون سنة بأشكال الحياة الجديدة في اتساع اتجارى متشعبة الى جميع الاصناف التشريحية الاساسية. ولم يبق الآن الا استيطان القارات بالاحياء الحيوانية والنبات وظهور الفقريات، وكلاهما تم في وقت لاحق. يوجد اجماع بين علماء الارض على ان الكمية الهائلة من الاوكسجين المطلق الموجود في الجو هي نتيجة تراكمه عبر الدهور من المتعضيات الضوئية تمثيلية التي ما فتت تصب في البيئة. ولا تزال هذه العملية مستمرة اليوم بواسطة النباتات والمتعضيات المجهرية الضوئية تمثيلية، مع ما يقدر بتسعين بالمائة (٩٠٪) من هذا الاوكسجين متولدا بفعل العوالق الاشنية أو النباتية في البحار (phytoplanktons). ان الاوكسجين الجوي بتركيزه البالغ واحدا وعشرين بالمائة (٢١٪) يقدم أكثر من مجرد توفير الاحوال الملائمة لديمومة الحياة الهوائية، فهو ايضا يوفر ساترا من الاوزون (ozone) في الطبقات الاعلى من الجو لدرء الاشعاع ما فوق البنفسجي في المدى ما بين (٢٤٠-٢٩٠) نانومترا والمدمر لجمع المواد العضوية. (ملاحظة نانومتر nanometer وهو جزء من الف مليون جزء من المتر، أي طول قدره ١٠^{-٩} متر).

للضوء ما فوق البنفسجي تأثير ضار وتدميري على المادة الحية، ويحطم المتعضيات المجهرية المكشوفة بسرعة بشل نشاط مادة الدذا فيها. وهو السبب في سفع أو حرق الشمس. انما جميع الاشعاع ما فوق البنفسجي محجوب اليوم بواسطة طبقة الاوزون الكثيفة في تخوم الجو العليا والمتكونة بفعل الضوء ما فوق البنفسجي القصير الموجه على الاوكسجين. وقبل تواجد

الاوكسجين الجوي كانت الاشعة ما فوق البنفسجية من ضوء الشمس تسطع على سطح الارض وتغلغل الى الطبقات العليا من البحار بشدة عنيفة وتشر الدمار بين الحياة الضعيفة المتعرضة لها. (ملاحظة: الجو يعني ايضا وحدة مقاييس فيزيائية لقياس الضغط الجوي، والجو الواحد له ضغط قدره (١٠١٣٢٤٩) داينا بالسنتيمتر المربع على سطح البحر (dyne/cm²)، أو حوالي (١٤٦٩) رطلا بالبوصة المربعة. وبجو واحد يبلغ مقدار الاوزون في هذا الدرء الطبقة طبقة من الغاز الصرف سمكها فقط ثلاثة سنتيمترات. انما هذه الكمية مزدوقة بالطبع بغازات الهواء الاخرى وتقع على ارتفاع يتراوح ما بين عشرة الى اربعين (١٠-٤٠) ميلا، أي ان الطبقة الجوية المحتوية للاوزون تبلغ في الواقع عدة اميال في سمكها. مع ذلك. فاذا انتقصت كمية الاوزون في الجو الى الثلث، على سبيل المثال، فان ذلك سيؤدي الى تدمير بشرتنا في ظرف دقائق عند التعرض، ومن جهة أخرى، لو ضوعفت هذه الكمية من الاوزون فمن المحتمل أن يؤدي هذا الى فناء الجنس البشري من الوجود بسبب انعدام فيتامين جوهري، ويختق بفعل تراكم ككل البكتيريا الهائلة).

تعرضت الارض خلال الفترة بين ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة وبزوغ فجر الحقب الكامبرية ما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة خلت، الى تغير بالغ وشامل ماديا وبيولوجيا اثناء ما كان مستوى الاوكسجين الجوي يتزايد. اثار دخول الاوكسجين المطلق الى البيئة تجاوين بيولوجيين اثنين، اذ معه بدأت الهوائيات تظهر مستخدمة تايضا تأكسديا محدودا منخفض الطاقة، وبدأت اللاهوائيات تنشد الوسائل لاتقاء آثاره القتالة. لا بد أن ردود الفعل هذه وقعت في آن واحد. وعندما يبلغ الضغط الجزئي للاوكسجين ارتفاعا كافيا للفسفرة التأكسدية ينقبض الهيدروجناز (hydrogenase) وغيره من الآليات التخيفية اللاهوائية المماثلة وتؤكد حتى الخمول. وكان أول من لاحظ هذا المستوى للاوكسجين حيث يكتب الاختبار

ويتوقف قيتح الامكانية لهذه الحياة الهوائية (Aerobic) هو لوسم باستور،
ويبلغ هذا المستوى واحد بالمائة (1/100) من تركيز الاوكسجين اليوم (1900).

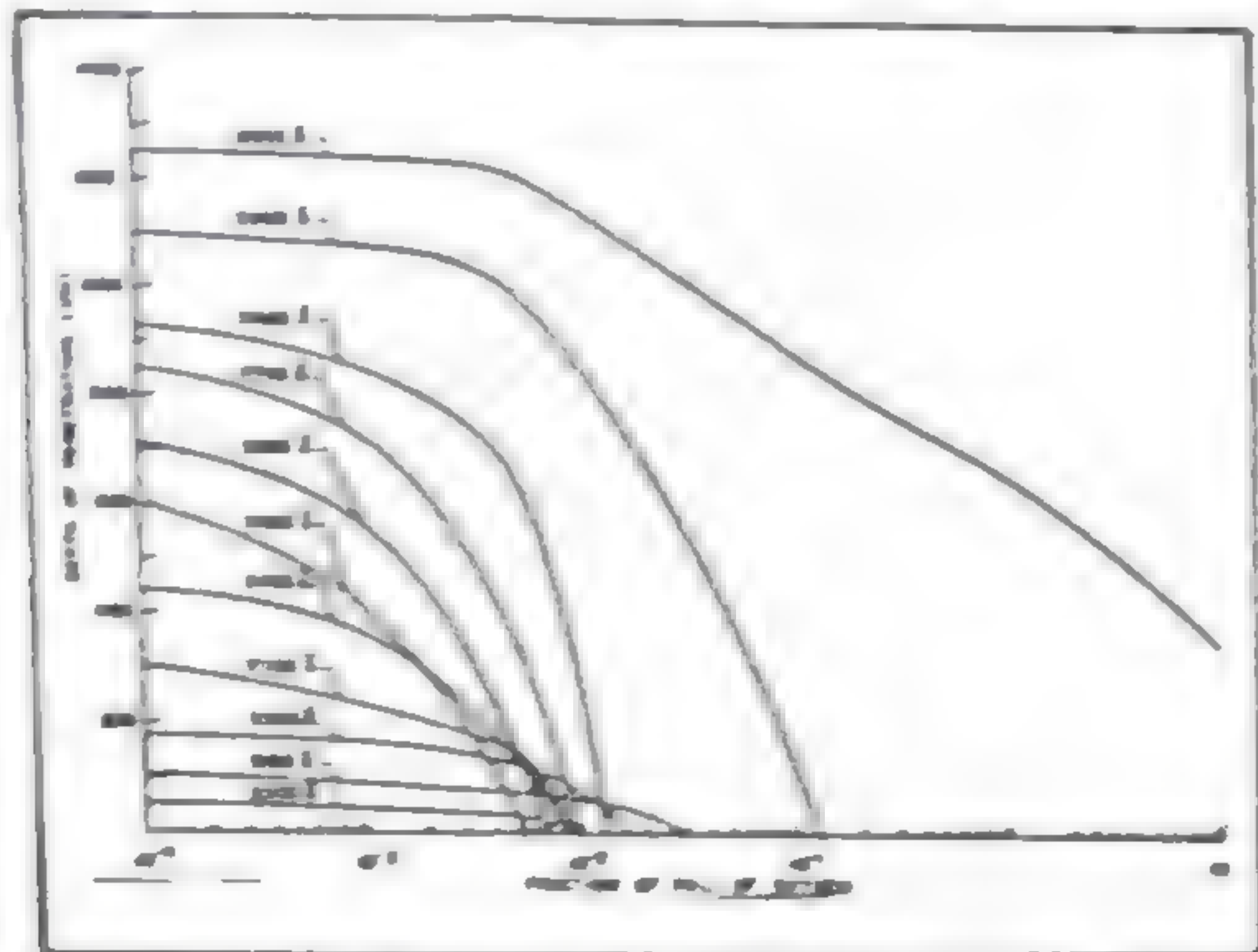
والى ان تراكم نزع واثق من الاوزون في اعالي الجو لحجب الضوء
ما فوق البنفسجي لابد ان موافق الاحياء الضوء تنيلية بقيت مقصورة على
منطقة ضوئية محصورة بطبقة من الماء او الرواسب المترجعة. ومع تضاد
الاشعاع ما فوق البنفسجي امام الطبقة الاوزونية المتزايدة بدأت الموائج
الاشيائية كالبكتريا البحرية تنح وتصلح الى الطبقات السطحية حيث تنيل
الضوءي اكثر تداولا. ويجب الاحتمال ان انتشار الموائج الاشائية البحرية
على سطح البحار المكشوفة عجل الى حد كبير من ازدياد الاوكسجين في
الغلافين البحري والجوي وبشوره انتهى الى تزايد الطبقة الاوزونية واتساع
المنطقة الحياتية.

اما بالرغم من امكانية رسم حوالي الاحداث فان تنظيمها في تسلسل
زمني ثابت اكثر صعوبة، يتوقف تثبيت زمن التجارب البيولوجي وظهور
الطبقة الاوزونية على معرفة مستويات الاوكسجين الجوي اثناء الانقراض
ما قبل الكمبري، وهذا لا يمكن سوى استنتاجا بالسلوب غير مباشر. لكننا
نعلم من السجلات الاخيرة ان الحيوانات ذوات الاجزاء الصلبة تانت على
نحو اضعاري في البحار عند بداية الحبب الكمبرية واخففت تستوطن
القارات بحوالي مائة (100) مليون سنة بعد ذلك.

بنون الاوكسجين الجوي كان الضوء ما فوق البنفسجي بسوجتها
260 نانومترا يتغلغل في الماء حتى عمق سبعة (7) امتار. وقد قام ايل دبليو
يوكر (L.W. Brock) وايل سي مارشال (S. Marshall) بالتدليل على
ان هذا الاشعاع الخرب بيولوجيا كان قد انتش فجاا مع ارتفاع مستوى

الاوكسجين بنسبة واحد الى عشرة بالمائة (1-10%) فوق نقطة باستور متيجا
بذلك المجال امام الموائج الاشائية البحرية للتوسع والانتشار في جميع انحاء
الطبقات السطحية للبحار فرفمت هذه بسرعة وتيرة تراكم الاوكسجين.
وبارتفاع مستوى الاوكسجين الى نسبة ثلاثة بالمائة (3%) فوق نقطة باستور
كان قد اصبح ممكنا ابتداء مؤايضة المتطلبات الاوكسجينية المنخفضة نسيا
مؤدية الى ظهور موجة من تعدد الخلوية بين اليوكاريوت.

لقد اشار بريستون كلاود الى ان تزايد الاوكسجين يبطء بعد ما قبل
الف وثمانمائة (1800) مليون سنة خلت كان قد اصطحبه تزايد في انتشار
رواسب الحجر الجيري والدولوميت، مما يدل على انتفاص مستوى ثاني
اوكسيد الكربون الجوي. وربما ان سعة انتشار القسرات او الرواسب
الجليدية في آونة اواخر النمر ما قبل الكمبري تعكس النسبة الكبيرة في
ازدياد الاوكسجين وفي انتفاص ثاني لوكسيد الكربون في تلك الآونة. وقلة



الشكل ١/١١ - رسم بياني بين مدى تغلغل الاشعاع ما فوق البنفسجي
في الماء في خلايا مختلفة من اجواء الاوكسجين والاوزون

الأكسجين أثناء الأزمات ما قبل الكبيرة منسقة بتسوية الفلوكونيت وهو سيليكات البروسيوم والحديد وتقلبات كيرتات الكلسيوم الرسوبية في نفس الأزمات ، على قبض غزولتها في الرواسب الأكثر حداثة.

لا شك ان ظهور الحيوانات المتعددة الخلايا جاء في اعتاب تسوء العمليات الخلوية الأساسية اللازمة لجعل ظهورها التلحي، ممكنا، وتوجد أدلة بيولوجية على ان الأكسجين كان قد أصبح عاملا مؤثرا في البيئة بزمان طويل يسبق ما توحي به الآثار البيولوجية . وقد أعلنت مرغوليس ورمبل^(٣٢) ان البروكاريوت ، وحتى أنواع قريبة الانتساب كثيرا ما تختف في تجاوبها للأكسجين ، ما يوحى الى انها طورت انماها التأضية الرئيسة بالاستجابة الى مستويات من الأكسجين متباينة ومتصاعدة . لكن لما كانت اليوكاريوت متوحدة للغاية في تجاوبها للأكسجين، فان هذا يوحى في الظاهر الى ان آلية مواجهة الأكسجين كانت قد نمت في مجموعات بروكاريوتية مختلفة وكانت قد تطورت وترسخت حين ظهرت اليوكاريوت.

وهذا الرأي يبدو مدعما بالعلاقة الظاهرة لارتباطات الأكسيداز (oxidase) التي تعمل على اخادقاعية البروكسايد (peroxides) . وقد كشف التسبق أو ترتيب الساق الجزيئي عن درجة عالية من الشبه في سياقات الطرف أو النهاية العيارية (N-terminus) لديسيوتاز السوروكسايد (superoxide dismutase) من اترسبات الحديد والمنغنيز في بكتيرية أي كولي، و رئيسة المنغنيز المتوكوندرية، وبكتيرية باسيلاس تيروثروموفيلاس (Bacillus stearothermophilus) أي المعية أو التوضبة الحرارية الدمنية أو المجتذبة اليها)، مما يجعل من المحتمل ان الجند أو السلف في أصل التوضبة (bacillus) كان يمتلك دييسيوتاز سوروكسايد وظيفية^(٣٣). غير ان هذا لا يدل بالضرورة على

تواجد مستوى عام من الأكسجين الجوي والذائب في البيئة ابان الدهر الاركي، وذلك لانه كان بإمكان اصناف بروكاريوتية وثيقة الصلة بالطحالب الخضزررقاوية المنطقة للأكسجين ان تسي الأكسيداز والتأيض التأكسدي بزمان طويل قبل وصول الجو الى حالة مؤكسدة ، والى حد كبير مثلما تعمل الميثانوجين اليوم في استمداد الهيدروجين الغازي المتحرر من الكلوستريديا.

تطرح مرغوليس قضية منسقة في انه كان بإمكان التعضيات المجهرية ان تسو على حواشي أو خفاف القارات بزمان طويل قبل ظهور النباتات والحيوانات فيها في الحقب الكبيرة فقد كان بوسع مستوى من الأكسجين الجوي قدره واحد بالمائة فقط (١٪) من نقطة دستور أن يوفر ما يكفي من الاوزون لوقاية سطح الارض من أغلب الاشعاع القاتل . زيادة على ذلك ، تسك التعضيات المجهرية البروكاريوتية العديد من الوسائل لوقاية نفسها ضد الاشعاع، بما في ذلك آلية اترسية تعمل على اصلاح الدنا التالف . وعليه ليس من المستبعد ان تكون الحياة قد زحفت الى القارات حتى منذ الدهر الاركي، وذلك في حصيرة غلافية من طبقة البكتيريا الضوء تشيلية الخضزررقاوية والارجوانية

مستدة من السواحل، وتحت هذا البساط كانت طبقات من البكتيريا اللاهوائية واللاضوء تشيلية الصفراء والبنية والسوداء تسمى وراء غذائها فيما كانت بكتيريا أخرى غضة الابدان واصناف من النطر تسو بين دقائق التربة^(٣٤).

تعتقد مرغوليس ان الزمن الطويل الذي استغرقته اليوكاريوت للتطور الى حيوانات الحقب الكبيرة المعقدة المتعددة الخلايا مرده الى عوامل بيولوجية أكثر منها بيئية . استلزم الزحف نحو تطور معقد لخلائق ذوات اقياض وعظام العمليات الدقيقة المثقلة في الانقسام القليلي - الانقسام الاختزالي (mitosis-meiosis) وتنظيم الكلسيوم ، واصبحت عملية الانقسام القليلي ممكنة فقط من خلال تنشئة دورة خلوية (cell cycle) ، ونظام

مبفوسومي، وآلية التوزيع الجيني بواسطة القويصبات أو الاوعية المجهرية (microtubules) • وتتطلب أجهزة القويصبات المجهرية الفتييلة الانقسام تركيزات منتظمة ومنخفضة من ايونات الكلسيوم لبلورة البروتين وربما كانت مسبقا قد كفت متعضيات لتقوم لاحقا بتنشئة خواص كربونات كلسيومية سائدة وواقية ، جميع هذه العمليات تحتاج الى اوكسجين وكانت لتستغرق زمنا طويلا للنشوء.

عند تعريف المتعضيات المجهرية الى مدرج اوكسجيني (oxygen gradient) سواء في المختبر أو في الطبيعة كما في اعماق التربة ، ينتهي انتشارها بما يعكس مستوى الاوكسجين. تتراصف البروكاريوت في المدرج بحسب تباين احتياجها الى الاوكسجين ، مينة بذلك ان هذا الغاز لا يزال عاملا انتقائيا بالنسبة اليها. أما اليوكاريوت، من جهة أخرى، فانها تنزع كمجموعة الى الاختلاط بالمستوى الهوائي التام. وتعتقد مرغوليس ان هذا دليل قوي على ان جو الارض كان مؤكسجا بالتام عندما نشأت اليوكاريوت (٢٥).

غير ان تقدير وتيرة النشوء عملية غير أكيدة مثلما هي عملية تقدير تركيزات الاوكسجين في الدهر ما قبل الكمبري، ذلك لأن النشأة البيولوجية ليست عملية منعزلة بذاتها وانما وثيقة الارتباط بالبيئة المادية الطبيعية. لقد خلقت المتعضيات الضوء تمثيلية في اكسجتها للبيئة كميناً من الطاقة امد اليوكاريوت بالقوة اللازمة لنشوءها. لا يبدو من المحتمل انه قد انقضى زمن طويل بين النشوء البيولوجي والجيولوجي، وربما أن سرعة تعجيل تزايد مستوى الاوكسجين في أواخر الدهر ما قبل الكمبري أدت الى تعجيل مائل في النشوء البيولوجي، مثلما أدت الاماكن البيئية الجديدة الانفتاح الى تنوع انتجاري لاستيطانها.

الفصل الثاني عشر - البكتيريا الاركية او الاولية

لم يكن ارتقاء المنظومات البيولوجية الى حجم اكبر واكثر تعقيدا من مجرد التام للكميائيات البسيطة قبل ما يناهز الاربعة آلاف مليون سنة خلت تقدا سوريا مطردا . فالنشأة الداروينية تشرح لنا الوسائل اللازمة لارتقاء الحياة الى المتعضية الاكثر اقتدارا في البقعة البيئية الملائمة (ecological niche) . انما في مناسبتين رئيسيتين نهضت خلائق بيولوجية من المستوى الثابت الراسخ لتنتشر في متسع اكبر في العالم المادي، في ساحة جديدة كل الجدة من البقع البيئية المكشوفة في العراء. واحدى هاتين المناسبتين كانت نشأة الخلية اليوكاريوتية التي فاقت الخلية البكتيرية حجما وتعقيدا بدرجات عدة . أما المناسبة الأخرى فكانت عندما انجست الحياة من عالم الميكروب الى تعدد الخلايا، الى البعد الملموس للنبات والحيوان.

تبقى المبادئ الداروينية صائبة مشروعة على جميع المستويات . فالمتعضيات تفرط في مكاثرة نوعها، والتنافس بين الافراد يفضي الى تحسين الخاصة التكيفية . لكن التنافسية في النشأة أثناء التدرج من الميكروبة الى الانسان قد انتقلت من الكميائي الى المادي. تألف الحياة في المستوى البكتيري من التنافس بين العمليات اليوكيميائية على استهلاك المواد ذات الطاقة الكيميائية ، والتقدم الى رتبة اليوكاريوتية والحجم التعددي الخلايا دفع بالتنافس الى حدة التكالب بالمخالب والاضراس ، والى الأشكال والزوائد البدنية لانتزاع المواد العضوية من باطن النطاق الحيوي. اذ فقط الضوء تمثيلات كانت تستمد طاقتها من الخارج، بينما كانت كافة أشكال الحياة الأخرى تسعى في التركيبة البيولوجية للنطاق الحيوي ذاته للحصول على ما يعينها على البقاء.

لقد أثر التقدم من التنوع البيوكيميائي الى تكييف التفاصيل البيئية في عمل الخبراء الباليوتولوجيين المعينين بمهمة تشييد السلم النشوي، وكانت الآثار الاحفورية، التي تكشف عن التغيرات الشكلية المورفولوجية، وسيلة ثينة في الاستدلال على السلالات الانحدارية للنباتات والحيوانات منذ ظهورها في فجر الحقبة الكمبرية قبل خمسمائة وسبعين (570) مليون سنة خلت. انما تشييد الخطوط السلالية الانحدارية للبكتيريا، من جهة أخرى، كان أمرا مختلفا بحد ذاته، وذلك لأن تنوعية البكتيريا بيوكيميائية الصفة بالاصل. فقد اقتضت سعة انتشارها وتنوعيتها على تباين العمليات الانزيمية لاستدراار الطاقة الكامنة في الاصناف المتعددة من المواد الكيميائية ينسأ بقيت اشكالها البدنية شديدة الشبه قلما توحى بأية أدلة الى ترتيبها النشوي. وبالنسبة، فإن بساطة الشكليات البكتيرية بذاتها تحول دون امكانية استمداد أية معلومات تنويرية من أحافيرها المجهرية.

استلزم الامر النزول الى مستوى آخر من التعقيدية لاقامة علاقة بين الانواع العديدة من البكتيريا، الى المستوى الكيميائي حيث تنمو الجزئيات بالحجم فوق الصغير اللامحسوس لتصبح الجزئيات العملاقة لعمليات الحياة. فعندما تعرض جزئة الدذا للتبدل الطفري في سياق فووتيداتها، ينعكس هذا التغير في تركيبة كل من حوامضها النووية وبروتيناتها على السواء، وبهذا تحول هذه البيوبوليمرات الى ساعات أو أجهزة قياس زمنية جزئية يمكن استخدامها لتحديد الزمن الذي تشعب فيه النوع من سلف مشترك. وعليه، بمقارنة الجزئيات المتماثلة من متعضيات مختلفة يمكن الخبراء البيولوجي من وضع العلاقات السلالية للكائنات الحية في ترتيبها السلالي الانحداري، ويشمل هذا حتى التنوعة الهائلة من البكتيريا.

بوسع تاريخ البكتيريا السلالي أن يوفر لنا منظورا الى الخواص

البيوكيميائية الأكثر عتاقة، ومتى ما امكن تمييز التدرج الترتيبي، نستطيع أن تساءل ببعض الثقة في الحصول على جواب: كيف كان اعتق اشكال الحياة؟ يمكن الحل للالقية السلالية في الكون المجهرى الكيميائي للبكتيريا في تشييد خطوط السلالات الانحدارية للعمليات التآيضية، ويمكن انجاز هذا بمقارنة النوتيدات الزمن قياسية، أي الحوامض النووية والبروتينات الداخلة في المسالك البيوكيميائية، مع تركيز الاختيار على تلك البيوكيميائيات التي يمتد وجودها أقرب ما يمكن الى جذور الحياة السلف الاول. لكل من الفريدوكسين والسيوكروم علاقة مشاركة بجهاز النقل الالكترونى في عملية استمداد الطاقة، ولذلك فانهما قاعديان لا ريب. ولما كانت ترجمة المعلومات الجينية الى بروتينات تتم في الريبوسومات فإن هذه تملك اسلافا سلالية ينبغي أن تمتد الى زمن ظهور الشكل البكتيري للحياة.

قامت مرغريت دايهوف وروبرت شفارتس^(١)، في مدرسة الطب لجامعة جورجيتاون بواشنطن دي سي بطرح شجرة سلالية للاسلاف البكتيرية مبنية على سياقات الفريدوكسين والرذا الريبوسومية خمسة أس (5S ribosomal RNA) والسيوكروموسي للبكتيريا، فقد اكتشفا ثلاث مناطق من التجدد أو الابتداع التآيضي ظهرت في الدهر ما قبل الكمبري، وأقدمها هي سلالة لا هوائية، بينما تعكس المنطقة الوسطى قيام التمثيل الضوئي المحرر للاوكسجين والتنفس الهوائي. ومن هذه المنطقة نشأت البكتيريا الهوائية والتعاشر التعايشي الذي افضى الى ظهور اليوكاريوت.

وبناء على سياقات الفريدوكسين تأتي الكلوستريديا نوع البكتيريا اللاهوائية التي تبدو الاقرب الى جذور الاصل السلف. فاللاهوائيات تستخدم الفريدوكسين في شطر حامض البيروفك لاستخراج فوسفات الاستيل acetyl phosphate = والاسيتيل هو الجذر الاساس او الشق (radical)

ذو الصيغة CH_3CO وهو مشتق من حامض الخليك ويتواجد فقط في مركبان
 وإحدى الكربوكسجة الاختزالية واحدة مشتقات الأزمنة المساعدة أ الأسيلي أو الشق
 أساسي (radioactive carbonylation of an acyl-acyl coenzyme A derivative)
 أسيل هو شق أساسي (radioactive) صيغة $R-CO$ مشتق من حامض عضوي
 بنزع مجموعة OH منه. والكربوكسجة carbonylation مركبة من كلمتي
 (كربون ووكسجين) وعليه فإن الفريدوكسين هو الذي أتاح للكلوستريديا
 العتيقة (ancient dominance) لشدة احتياجاتها من الأت ب ATP ومنحها القدرة
 الاختزالية للتفاعلات اليوتيميلية (biosynthesis) بالعلكة وشرط البيروقات.
 وبعض الكلوستريديا تلك القدرة للقيام بالتمثيل الكلي للخلات (acetate)
 من ثاني أوكسيد الكربون أثناء التخمر، بينما تقوم أخرى باختزال الفيومارات
~~في~~ : ربما دخاقت، أي املاح دخانية) الى خللات. وبناء على هذا
 يمكن الاستنتاج أن انواع الكلوستريديا الاولى كانت تملك المقدرة على
 اختزال ثاني أوكسيد الكربون وتمثيل الهيم او الصفييم (heme)
 ليتوكروماتها، واستعمال الفوسفات كمتقبل الكتروني نهائي
 (terminal electron acceptor) لعمليتها اللاهوائية في استخراج الطاقة.

كما أن تبيت النيتروجين ايضا من العمليات التي تتواجد في انواع
 عديدة من الكلوستريديوم وإضا في بكتيرة الكبريت الاخضر كلورويوم
 (chlorobium)، وفي أغلب انواع البكتيريا المختزلة للكبريت من صنف
 ديسالتوفيريوم (Desulfotribium). تتطلب عملية اختزال النيتروجين الى امونيا
 اربع جزيئات من ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP) لكل زوج من الالكترونات،
 وست الكتروقات من قزع او مختزل Reductant منخفض الطاقة مثل
 الفريدوكسين. تحمل الالكترونات (electron) بروتينة حديد (Fe-protein)
 و بروتينة موليدنوم حديد (MoFe-protein) لا صلة لهما بالفريدوكسين وانا



يتضمنان ايضا عناقيد الحديد-كبريت (iron-sulfur clusters) وفي العديد من
 الحالات يمكن لمكون نيتروجيناز (nitrogenase component) من نوع بكتيري
 تكملة المكون الآخر في نوع بكتيري آخر، مما يوحي الى انه قد تم الاحتفاظ
 بوظيفة البروتينات في تثبيت النيتروجين وان هذه الآلية خاصة بدائية بين
 العمليات الحياتية^(٢).

كانت عملية التمثيل الضوئي اللاوكسجينية متواجدة لدى المتعضيات
 الاولى بزمان طويل قبل ظهور عملية تفكيك الماء بالتحفيز الضوئي المحسرة
 للاوكسجين (oxygen-liberating photocatalytic dissociation of water)
 وبكتيريا الكبريت الاخضر (chlorobiaceae) وبكتيريا الكبريت الارجواني
 (chromatiaceae) هي متعضيات ضوء تمثيلية من اصل سلالي قديم للغاية
 تقوم باستعمال كبريت كبريتيد الهيدروجين بدلا من اوكسجين الماء كمصدرها
 من الالكترونات. في بكتيرة الكبريت الاخضر (chlorobium) يتم امتصاص
 الضوء باليخضور البكتيري (bacteriochlorophyll) الذي يجري استخدامه
 لاختزال فاد (NAD، أي ثاني نووتيد ادنين النيكوتيناميد) بيسل من
 الالكترونات من متقبل الالكترونات الابتدائي عبر الفريدوكسين وريدكتاز
 (reductase) الناد، ثم يقوم الكبريت بامداد اليخضور البكتيري بالالكترونات
 مرة أخرى بواسطة سلسلة سيتوكرومية. أما بكتير الكبريت الارجواني، من
 جهة أخرى، فتقوم بتوليد الأت ب (ATP) من جهاز نقل الالكترونات دائري
 (cyclic) يقوم بدوره بتسريب الالكترونات من المتقبل الابتدائي الى اليوبكونون
 (ubiquinone) وسياق من السيتوكرومات عودة الى اليخضور البكتيري. تسمى
 عملية التمثيل الضوئي هذه بالجهاز الضوئي واحد (photosystem I)، وتشمل
 أجهزة النقل الالكتروني الدائرية، واللا دائرية (noncyclic)، والعكسية
 (reverse) وجميع المتكررات الاولى، ويفترض ان المتعضيات من هذا الصنف
 نشأت بعد الكلوستريديا بقليل.



الأدنوسين (adenosine 5-phosphosulfate) و بروتينة حاملة نوعية تسمى
اليتوكروم سي. وعليه فقد اقترح ان اللاكبريتية الارتجاجية تثبت بعد
البكتيريا الضوء تمثيلية المتجة للكبريتات^(٢). قام مانفريد شيدلوفسكي
(Manfred Schidlowski) من معهد ماكس بلانك بألمانيا الغربية باستحصا
بيانات نظائرية (isotopic) حول عينات من درع الدان (Aldan Shield)
بسيبريا والتشكيلات الحديدية المخططة أو الطبقة من كندا توحي بأن مختبرات
الكبريتات ظهرت بين ما قبل الفين وثمانائة (٢٨٠٠) مليون وثلاثة آلاف
(٣٠٠٠) مليون سنة خلت^(١).

هذا التكيف نمت القويصات جهاز نقل الكتروني قائم على السيوكروم،
 ينما طورت بكتيريا حامض اللبنيك جهازا ينتهي بالفلافين flavin = واحد من
 مجموعة اصباغ صفراء تقع في بعض المتوجات النباتية او الحيوانية او تنتج
 اصطناعيا). اما الايثرشيا كولي، من جهة أخرى، فتملك سلكين لنقل
 الالكترون ينتهيان بالاوكسجين ويعتمدان على مستوى توتر الاوكسجين .
 وفي احوال عالية التشبع بالهواء ينتهي المسلك في السيوكروميسي، اما في
 التوترات او الضغوط الاوطأ ينتهي في السيوكروم «دي» وتوحي
 هذه الوقائع للمكونات النهائية اللامتسبة للتنفس الهوائي بأن التكيف
 للاوكسجين نشأ على حدة مستقلا في مناسبات عديدة منفصلة.

وما أن ترسخ التنفس الهوائي ودورة كريس (Krebs cycle) للفلكلة
 الكلية في عرقة السلالة البروكاريوتية ، حتى أدت الزيادة الكبرى في الطاقة
 المتوفرة الى ظهور الخلية اليوكاريوتية الأكبر حجما والاكثرتعقيدا . تتطلب
 عملية الانقسام الفتيلي والتمثيل الحيوي (biosynthesis) للمركبات الستيرويدية
 مجموعة من المركبات تشمل الستيروول sterols ، والحوامض الصفراوية ،
 والهرمونات الجنسية المتميزة ببنية حلقة الذرة الكربونية للاستيروول . sterol =
 مجموعة من الكحول اللامشعبة الدائرية الصلبة الكوليسترول ، تتواجد في
 الانسجة النباتية والحيوانية ، والحوامض الدهنية البولي غير مشبعة
 (polyunsaturated) ، وغيرها من المواد المنفردة باليوكاريوت ، تتطلب كلها
 الاوكسجين الجزئي، ونشأت هذه القدرات البيموكيميائية مع تغير البيئة .
 وتفيد دايهوف وزملاؤها^(٥) ان الفرع اليوكاريوتي صدر من الجزء
 الوسط من الشجرة السلالية التطورية مع نوعين بكتيريين هما البكتيريا
 الملحية (Halobacterium salinarium) والمستوعبة الحرارة والحوامض
 (Thermoplasma acidophilum) المنبثقة من السلالة المضيفة . وهذه النظرية

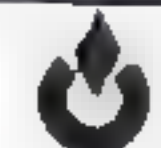


مدعمة بتشابه جهاز تمثيل البروتين في البكتيريا الملحية بجهاز اليوكاريوت،
 وان المستوعبة للحرارة تنقصها الجدران الخلوية اما تملك بروتينات هستونية
 او شبه نسيجية لوقاية الدنا فيها، وتضمن بروتين شبه اكتيني (actin =
 نوع من البروتين في العضل) وتستخدم اوكسيداز الفلافين (flavin oxidases)
 لمؤايسة اوكسجينها . غير ان هذا التفسير ليس مقبولا لدى جميع
 البيولوجيين^(٦) . اذ، يعتقد كارل ووزه^(٧) من جامعة الينوي ان هذه الانواع
 اللاعادية أقدم بكثير وتمثل نوعا ثالثا من الحياة ازدهر حين كانت الارض
 مختلفة كل الاختلاف عما هي عليه اليوم .

استخدم ووزه التسيق الجزئي ايضا لرسم السلالة التاريخية للبكتيريا
 ولكنه بنى نتائجه كليا على مقارنة رنا ريوسومي نوعي . تألف الريوسوم
 من جزيئات الارنا مضمورة بالبروتين ، ونموذجيا تضم الخلية البكتيرية
 ما بين عشرة الى عشرين (١٠-٢٠) الف ريوسومة . ولأن الرنا الريوسومية
 بقيت دائمة الوظيفة طوال تواجد الحياة فإن تنفا من الجزيئات تغيرت في غاية
 البطء على مر الدهور وبما يجعل غير محتمل أن يكون السياق السلف المشترك
 قد اندثر كليا . لا توجد نسخ طبق الاصل لأن التبدلات الطفرة قد غيرت
 السياق الاصيلي انما لا بد انه يوجد باقيا في هذه الجزيئات الضخمة آثار
 للرنا الريوسومية الاصلية وجينتها والتي ظلت عائشة عبر الزمن النشوي .
 توجد ثلاث رنا ريوسومية موسومة 23S ، 16S ، 5S في وثيرة ترسبها

في جهاز النبذ المركزي الفائق السرعة ultracentrifuge ملاحظة: يشير حرف S

الى عبارة سفيدبرغ وهي مقياس لوثيرة الترسيب في جهاز النبذ المركزي
 الفائق السرعة ، ومقياس غير مباشر للوزن الجزئي . أما اعداد هذه الرنا
 من النوتيدات فهي على التوالي (٢٩٠٠) ، (١٥٤٠) ، و (١٢٠) انما من حيث



التمييز الخاصي ليست الرنا الريبوسومية الصغيرة S₃₀ مؤشرا دقيقا للنسبة السلاية بقدر ما هو شأن الرنا الأطول، وبما ان الرنا الريبوسومية (23S) تبدي أحيانا فوارق شاذة في السياق من نوع الى آخر، فقد اتخذت الرنا الريبوسومية (16S) كالنموذج الخاصي .

عندما بدأ ووزه بتقصي الانساب البكتيرية في عام ١٩٦٩ بمقارنة سياقات الرنا الريبوسومية (16S) لم تكن التكنولوجيا المطلوبة لتحديد سياق النوتيد في الجزئية برمتها ممكنة تكتيكيا مثلما هي اليوم . غير انه كان من الممكن تسبق شذفا قصيرة، أو نووتيدات (انصح التعبير "oligonucleotides" اشتمل الاسلوب على وشم الرنا الريبوسومية (16S) من نوع معين بالفوسفور المشع ٣٢ . واستخدام الانزيم ريبونوواز (ribonuclease) لهضم الجزئية . بعد ذلك جرى تكسير الهضم (digest) بالتقطير التفاصلي الى النووتيدات (oligonucleotides) بطريقة التثريد الكهربائي الورقي الثنائي البعد (two-dimensional paper electrophoresis) ثم جرى تسبق كل نووتيدة ، وأسفرت العملية عن جدول تفصيلي كبير لسباقات المتعضية ، كانت مقارنة جداول من متعضيات مختلفة ماثلا لمقارنة سياقات رنا الريبوسومية (16S) فيها، ويمكن استخدامها في رسم الانساب السلاية التاريخية^(٨).

يؤدي هضم الرنا الريبوسومية (16S) بالريبونوواز (T1 ribonuclease) الى تكسر الجزئية الى عدد من الشداف مع بعض منها بطول (١٥-٢٠) فضلة . تضمنت النووتيدات البالغ طولها (٦) وحدات أو أكثر ما بين (٥٠٠-٦٠٠) فضلة، أو خسا وثلاثين بالمائة (٣٥/١) من مجموع (١٥٤٠) نووتيدة في الجزئية . تقريبا دائما ظهرت الاوليفومرات oligo = قليل، صغير، ناقص المتضمنة لأكثر من خمس نووتيدات مرة واحدة فقط كسياق في جزئية رنا الريبوسومية (16S) . وعليه، كلما تضمنت الرنا الريبوسومية 16S . المأخوذة من متعضيات



مختلفة نفس السياق السداسي الوحدة ، كانت احتمالية كونها شبيهة صادقة تقريبا مؤكدة .

قامت جماعة من جامعة الينوي بجرد خصائص الرنا الريبوسومية ما يقرب من مائتي (٢٠٠) نوع من البكتيريا واليوكاريوت . وفي اثناء عزل البكتيريا بالتعاون مع رالف وولف (Ralph S. Wolfe) من قسم الميكروبيولوجيا ظهرت علاقة غير متوقعة . اذ لم تقع الميثانوجين ، وهي المتعضيات التي تعيش في بيئات خالية من الاوكسجين وتولد الميثان بأختزال ثاني اوكسيد الكربون، لم تقع في المجموعة السلاية مع البكتيريا . كانت هذه نتيجة غير متوقعة . فالميثانوجين تبدو كالبكتيريا في مظهرها وقد اعتبرت دائما كأفراد في تلك المجموعة ، لأنها من نفس الحجم ولا تملك غشاء نوويا، والدنا فيها صغير مثل نظيره في البكتيريا ، مع ذلك، ابانت مقارنة الرنا الريبوسومية ان الميثانوجين لا تمت الى البكتيريا بصلة أوثق منها الى اليوكاريوت .

وأعطى المزيد من التحليلات نفس النتيجة بالنسبة الى صنفين آخرين من المتعضيات هما الملحيات المتطرفة (extreme halophiles) ومستوعبات أو محبات الحوامض والحرارة (thermoacidophiles) . والملحيات المتطرفة هي البكتيريا تتطلب تركيزات عالية من الملح وتنمو بسرعة في الاجاج المشبع ، وتتواجد على تخوم البحار وفي بحيرة الملح العظمى والبحر الميت ، وتضفي لونا احمر على احواض تبخير الملح وهي المسؤولة عندما يفسد السمك المملح . اما الحامض حراريات ، من جهة أخرى، فهي شهيرة بتحملها لدرجات الحرارة العالية والاحوال الشديدة الحموضة . وهناك جنس منها هو الكبريتي الفص (sulfolobus) يتواجد في الينابيع الكبريتية الحارة حيث ترتفع الحرارة فوق تسعين (٩٠°) مئوية وينخفض (pH = ٢) دون (٢) . وقد تم العثور على جنس آخر منها هو الثرموبلازما (Thermoplasma) في الاكوام المضطربة



من نفايات الفحم.

ينبغي أن تعكس الفوارق السلالية بين هذه المتعضيات والبكتيريا النموذجية في الفوارق البيوكيميائية، وقد وجد أن هذا هو الواقع. من السمات العامة للبكتيريا هو جدارها الخلوي، وهذا يتضمن مشتقا للسكر هو حامض الموراميك (muramic acid) وهذا هو وحدة قاعدية لبوليمر معقد يسمى بالهضميتيدوغليكان (peptidoglycan) كان معلوما أن اصناف الملحيات والحامض حراريات مستثناة من التعميم، لكن ذلك ربما كان مجرد نزعة مزاجية. فعندما أجريت مقارنة أسلوية تبين أن جميع الاصناف الثلاثة هذه، وهي الميثانوجين، والملحيات، والحامض حراريات، لا تتضمن الجدار الخلوي من صنف الميورين (murein) البكتيري النموذجي. انما بدلا من ذلك وجد أن الاصناف الثلاثة تضم عددا من انواع الجدار مختلفة للغاية. فبعضها يتضمن جدران ميورين كاذبة (pseudomurein) الشبيهة بالجدران البكتيرية النموذجية الا انها لا تحتوي على حامض الموراميك^(٩)، وبعضها له جدران مصنوعة من وحدات البروتين الفرعية^(١٠) (protein subunits)، وبعضها جدرانها مصنوعة من البولي سكاريد^(١١) (poly saccharides)، وبعضها، وهي الميكوبلازما (mycoplasma) لا تملك أية جدران على الإطلاق^(١٢).

وعند تحليل الأغشية الخلوية للمجموعة وجد أن مركباتها الدهنية (lipids) كانت مختلفة بوجه بارز. تتألف المركبات الدهنية لكل من البكتيريا واليوكاريوت من حوامض أمينية مستقيمة السلاسل مربوطة بجزئته الغليسرول (glycerol) من خلال الرابط الايستري (ester linkage-co-o). كما أن المركبات الدهنية للاصناف الثلاثة المذكورة هي ايضا غليسيريدية (glycerides) ولكنها تختلف باحتوائها على سلسلتين من الهيدروكربون طويلتين مربوطين بالغليسرول برابط اثيري (ether linkage-O-). أي، بعبارة أخرى، ان المركبات

الدهنية، بدلا من كونها حوامض دهنية ثنائية الايستر (diester)، هي ثنائية الاثير (diethers) تتألف من الفلرول وجزئتين من الكحول فيتانول^(١٣) (phytanol).

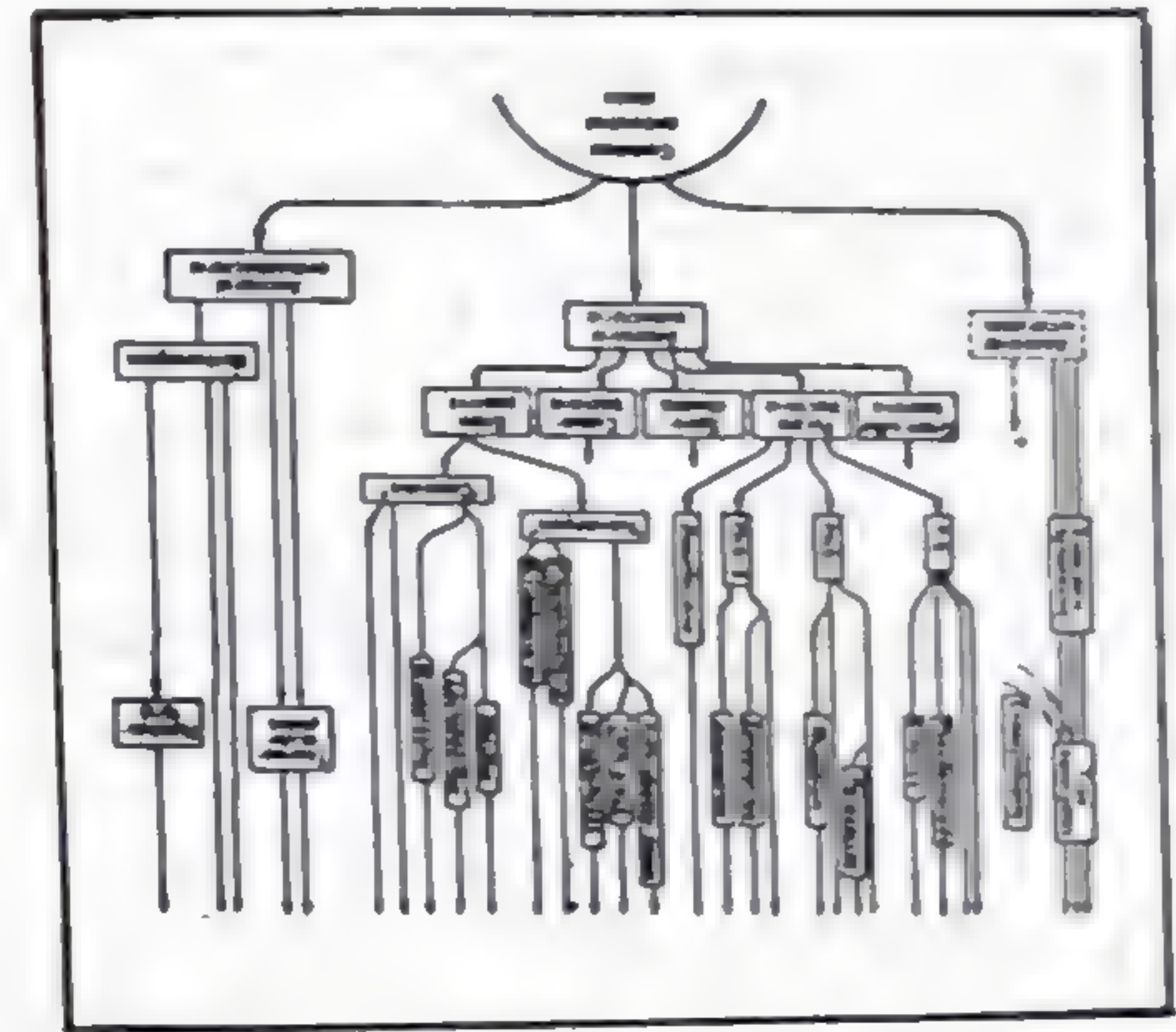
تختلف هذه المجموعة الصغيرة من المتعضيات الشاذة عن اشكال الحياة بصفة واضحة اضافية أخرى. تضم عملة تشيل البروتينات في جسم المتعضيات مسلسلا قاعديا من جزيئات الرنا الناقلة التي تحمل حوامض أمينية معينة الى الرنا الرسول للاحاقها بسلسلة الهضميتيد، وفي جميع المتعضيات تضم الرنا الناقلة قاعدة من اليوراسيل (uracil) ميثلة (methylated) لتشكيل الثايمين، ما عدا في الميثانوجين والملحيات المتطرفة والحامض حراريات. ففي هذه المتعضيات الثلاث لم يجر تحويل اليوراسيل الى ثايمين، انما قد تم تحويله لتشكيل اما يوريدين كاذب (pseudouridine) أو الى نووتيدة أخرى لا تزال لم يتم تشخيصها^(١٤).

وأستادا الى هذه النتائج اقترح ووزه (Woese) انه لم يكن يوجد نوعان من الحياة، وانما في الواقع ثلاثة انواع، وأطلق على النوع الثالث اسم الاركي بكتيريا أو البكتيريا الاركية^(١٥). اذن، اذا كان يوجد في الحقيقة ثلاث ممالك اولية (primary Kingdoms)، الاركي بكتيريا، والبكتيريا الحقيقية، واليوكاريوت، فان هذا الامر يشتر تساؤلا جديدا، وهو: في اية مرحلة من النشوء نشبت أشكال الحياة المختلفة، وماذا كان سلفها الاصلي المشترك؟

يبدو في منطوق الجداول التفصيلية الريبوسومية ان الاركي بكتيريا والبكتيريا الحقيقية واليوكاريوت تقع على ابعاد متساوية عن بعضها في الزمن النشوي. وبدلا من ظهور اليوكاريوت عن اتحاد لليوكاريوت يبدو من الممكن أن ربما الاركي بكتيريا ايضا شاركت في الخلق التعايشي الضمني أو الباطني.

يوجد على الأقل جينة سيتوبلازمية يوكاريتية واحدة تختلف عن الاخرى. على ما يظهر أن النواة اليوكاريتية تتضمن ثلاثة أنواع من الجينات، التي لربما هي من المادة الجينية للخلية المضيفة ومن الجينات المستملكة من جنومات الاورغانيلات. غير انه قد وجد الجينة في البروتين (A) الريوسومي ليست من أصل يوكاريتي وانما من أصل اركي بكتيري^(١٦).

عند استثناء الاركي بكتيريا، تضم البكتيريا كسب (class)، بالرغم من تنوعها الظاهر، نسبة سلالية وثيقة. توجد ثمانية تقسيمات بكتيرية كبرى يبدو انها قد تشعبت من بعضها البعض خلال فترة من الزمن قصيرة نسبيا بحيث انه يصعب معها التثبت من ترتيب تعاقبها بالضبط. مع ذلك، فهي جميعها تضم نفس الصنف من جدار الخلية، واليتها لتمثيل البروتين قياسية تماما للبروكاريوت واليوكاريوت على حد سواء.



الشكل ٢/١٢ - مخطط بياني يوضح المنحدرات السلالية الكبرى للبروكاريوت

أما بالنسبة الى الاركي بكتيريا، من جهة أخرى، فانه بالرغم من ضالة العدد المعروف منها، تشير المقاييسات السلالية العميقة واحصاءات الخصائص الصنفية الى انها تشمل تنوعة لا تقل عن نظيرتها في البكتيريا وحتى اعظم منها. توجد في الاقل اربعة اصناف جدارية كبرى في الاركي بكتيريا وذلك مقابل الصنف الوحيد الموجود بين البكتيريا، وبينما يتألف بوليمراز الرنا في البكتيريا من بنية ذات وحدات فرعية ثابتة، فان بنية البوليمراز (polymerase) في الاركي بكتيريا مختلفة^(١٧). وهذا ربما يعني ان الزمن الذي تم فيه الاتصال بين الاركي بكتيريا والبكتيريا من سلف مشترك يطعن في العقدة بحيث انه حتى وظيفة بوليمراز الرنا كانت لا تزال في مرحلة التطوير والتهديب.

ان الاركي بكتيريا مرموقة بتطرف البقع البيئية التي تقطنها (environmental niches). توجد الميثانوجين منتشرة على نطاق واسع ولكنها لا يعثر عليها اعتياديا لأن الاوكسجين يقتلها، وتلازم فقط الاماكن التي يكثر فيها ثاني اوكسيد الكربون والهيدروجين، ومعنى هذا انها تتواجد في تعاثر وثيق مع البكتيريا الاخرى التي تنتج هذين الغازين مثل الكلوستريديا التي تقوم بمؤايضة المواد العضوية المتفسخة وتطلق الهيدروجين كناتج تلف. وعليه فان الميثانوجين تتواجد في رواسب المستنقعات السبخة والجداول والبحيرات الغنية بالنباتات المتفسخة حيث تقوم بإنتاج ما يسمى «بالغازات المستنقعية الملحية أو التصاعدات الاجامية». كما تتواجد ايضا في المسالك المموية للحيوانات في العموم وفي كروش السدائم والمجترات الاخرى. ويمكن عزلها من قيعان البحار والينابيع الحارة.

تميش الملحيات المتطرفة في أحوال قاسية فوق العادة لا تطبقها معظم المتعضيات الأخرى. فهي تزدهر فقط في التركيزات الملحية العالية حيث تضطر الى استدامة مدرج تركيز كبير عبر غشاء خلية لمنع المستوى

الايوني الباطني فيها من التجاوز ولنقل المواد الى الخلية وافرازها منها. تملك الملحيات المتطرفة آلية التثيل الضوئي بسيطة نسبياً وليست مبنية على اليخضور وانما على صبغة مغطاة بالغشاء تسمى بالرودوبسن البكتيري. Rhodopsin = صبغة بروتينية ارجوانية توجد في عصيات الشبكية تتحول بفعل الضوء وضرورية للرؤية في الاضاءة الضعيفة).

والحامض حراريات ايضا تضطر الى استدامة مدرج واسع عبر غشاء خليتها، ولكنه مدرج (pH:) للحفاظ على (pH:) محايد تقريبا في باطن الخلية اثناء عيشها في سوائل شديدة الحموضة. يتوقف هذا المدرج على درجات الحرارة العالية في ينابيع الكبريت حيث تعيش ، وعند وضع الكبريتية الفص أو السلونولوباس (sulfolobus) في درجة حرارة اوطا تتوقف عملياتها التايضية عن الاشتغال، مما يؤدي الى عجزها عن الحفاظ على حياديتها الباطنية ، وفي النهاية تموت.

تتني الاركي بكتيريا الى «شعب» أو أمة من المتعضيات تعيش في احوال قاسية جدا ومحالة بالنسبة الى اشكال الحياة الاخرى، وتعتبر في العموم بأنها تثل امتدادا للعالم الحي الى هوامش المنطقة الحياتية عن طريق التكيف. غير أن الجواب هو ربما أنها لاجئة من عالم متغير كانت في زمن ما سائدة فيه . أما ووزه (Woese) فيحاجج ان التايض وآلية السيطرة للاعادي في الاركي بكتيريا ربما يعكسان الاحوال التي كانت سائدة زمنا حين كانت الحياة تظهر لأول مرة على أرض شابة (١٨).

الفصل الثالث عشر - الطاقويات

كلنا لنا سلالة اسلاف تمتد في خط متواصل يصل الى ما قبل ثلاثة آلاف واربعمئة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت. فقد كان في لحظة ما في ذلك الماضي البعيد الى حد اللامعقول أن تجمعت المواد معا على الارض البدائية لتشكّل كيانا ملك القدرة على امتصاص الطاقة واستخدامها للنمو وتركيب وحدات متزايدة التعقيد ابداء. وعلى تقيض عالم الجماد الذي يمتص الطاقة لمجرد أن يزداد اختلالا ، ملكت المنظومات البيولوجية التي تكونت القدرة على توجيه الطاقة الى التنظيم والانتعاش المترادين . وهذه القدرة التي نرثها من الخلايا الحية الاولى تشكل الصفة المميزة لجميع الكائنات الحية.

تقوم الخلية البيولوجية بتمثيل مقوماتها العضوية (constituents) بمسلسل من التفاعلات البيوكيميائية تخفّزها الانزيمات. أما كيف امتلكت الانزيمات على هذه القوى التحفيزية الباهرة فقد بقي سرا دفينا طوال عقود عديدة، انما لازم هذا السر مشكلة أكثر أهمية وخطورة . فالمنظومة البيولوجية تقوم بتمثيل مكوناتها ببناء جزيئات معقدة من مواد كيميائية بسيطة ، وتنمو وتتكاثر ، وتنتج ليس صنفا واحدا او اثنين من البيوكيميائيات، وانما حرقا بالآلاف ، كلها مشتبكة على نحو منتظم للغاية . وهذه جميعها وظائف تحتاج الى طاقة. وبالنسبة فان الحياة تخلق النظام من الفوضى.

أقرت المفاهيم الاساسية للطاقة في السنوات الاربعينية من القرن التاسع عشر، وذلك بزمن طويل قبل تفهم طرائق العمليات الحياتية . ان القانون الاول في الحركية أو الدينامية الحرارية (thermodynamics) يقربنا من الطاقة، وبالمبدأ القائل بعدم امكانية اقتناء أو فقدان الطاقة ولا المادة ضمن منظومة مغلقة . ويتناول القانون وصف كيفية تدفق الطاقة السائبة أو الطليقة،



بصفة (ΔG او ديلتا جي) ضمن المنظومة والكون ، والنسق المنتظم على حد سواء، أي الطاقة الكامنة اللامتاحة او الانتروبيا (entropy). تتدفق الطاقة من مناطق التركيزات العالية منها الى المناطق حيث تكون تركيزاتها منخفضة، ومثل الماء، تنزع الطاقة الى الاستواء، كما يشهد على ذلك انسياب الحرارة من الأشياء الحارة الى الأخرى الباردة .

ينطبق هذا الاتجاه لتدفق الطاقة على جميع أحوال الطاقة الباطنية . فالنظام المستحدث بأشياء ناطحات سحب أو جزيئات معقدة من توزيع أقل انتظاماً للمادة يمثل تأييداً أو استثماراً للطاقة، انما يتعذر الحفاظ باستمرار لا محدود على تركيزات من الطاقة في نظام يقع فوق المستوى العام بدون مواصلة ضخ الطاقة فيه لصد التيار نحو التوازن.

وعليه ، فان كل عملية لتركيز الطاقة بهدف بناء نظام يعمل ضد تيار الطاقة . مع ذلك، هذا هو تماماً ما تفعله المنظومات البيولوجية . ولرؤية كيفية امكانية هذا بوسعنا أن نعتبر المنظومة البيولوجية بمثابة ظاهرة منحصرة محلياً، أي في مكان تواجدتها فقط، يمكن فهمها على افضل وجه بمقارنة سلوكها بالسلوك المائل للماء . فبالرغم من ان الماء ينزع الى البحث عن مستوى، توجد أمواج ترتفع فوق المستوى الى وضع غير مستقر على حساب الجوف الحاصل بينها والمنحدر نحو الاسفل . وهكذا ايضا تنزع عشوائية الكون للدبلولة الى مستوى مشترك للتوازن الحركي الحراري، لكن الامواج المنتظمة ترتفع فوق مستوى التوازن على حساب الطاقة في المواد الأخرى .

ان العملية الاجمالية لهذا لا تناقض القانون الثاني . فالنباتات، وهي الحواشد الابتدائية للطاقة الشمسية ، تمتص من الشمس طاقة أكثر مما تخزنه كطاقة كيميائية ، بحيث ان مجموع العملية ليس الا سلسلة منحدرية من الاحداث . ثم تقوم الحيوانات باستهلاك النباتات لبناء مكوناتها، والطاقة

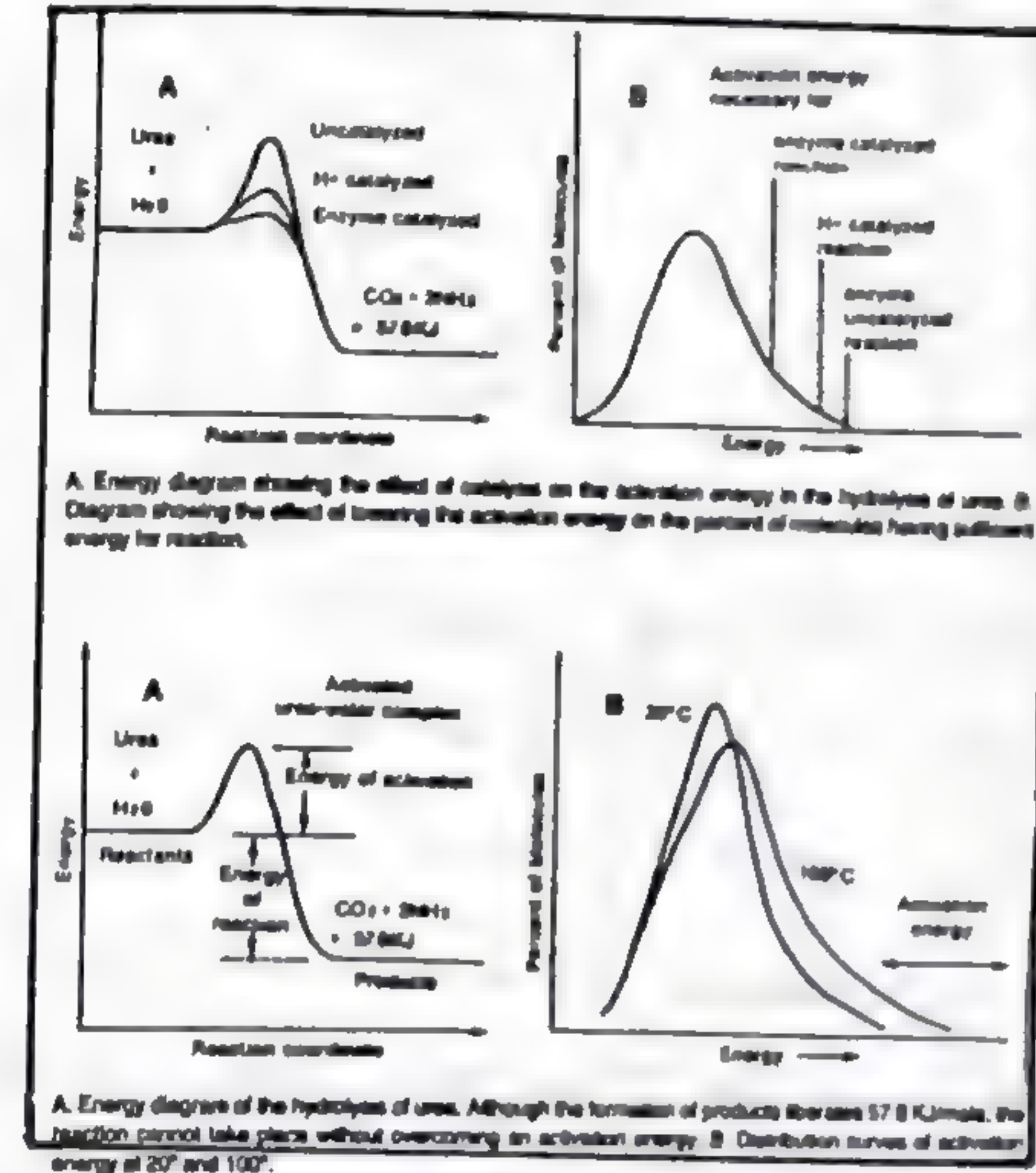
الكيميائية المخترنة في النباتات هي التي تقدم الطاقة الايضية للحيوانات .

وبسبب حواجز الطاقة التي تحد من سير التفاعلات الكيميائية يوجد نطاق ضيق من درجات الحرارة تكون التضاريس الجزيئية الدائمة فيه نوعاً ما معقدة . يمكن أن تكون الجزيئات في أحوال من الطاقة العالية قصيرة الامد وتتجمد في البنى الكيميائية بطاقات كامنة، وبوسع بعض هذه الجزيئات أن تتفاعل كيميائياً لامتناس الطاقة وتوجيهها لرفع الطاقة الباطنية في المكونات والبنية الخلوية الدقيقة المعقدة . وهذه هي القاعدة الفيزيائية التي قامت الحياة عليها، مستخدمة طاقة الشمس لادامة ذاتها .

جميع التفاعلات البيولوجية هي تفاعلات تلقائية . ومعنى هذا هو ان التفاعلات تصاعدية من مستوى التوازن ومدفوعة طاقوياً للتحرك نحو التوازن، رغم انها لا تبدي شيئاً عن وتيرة التفاعلات . فهي كالصخرة على ناحية الجبل، تنزع هذه التفاعلات البيوكيميائية الى الركود ما لم تنلها الدفعة . وعلى سبيل المثال ، يمكن أن يبقى البنزين او السكر في الهواء زمناً لا محدوداً تقريباً دون أن تبدر منهما أية علامة للاحتراق بالرغم من أن تأكسدهما عملية تفاعلية طاردة للحرارة . انما لكي يبدأ التفاعل يلزم أن تتقطع أربطة الكربون - الهيدروجين (C-H) الضعيفة قبل أن تتكون الاربطة الكربونية - الاوكسجينية (C-O) والاكسجينية - الهيدروجينية الاقوى . تكون هذه الاربطة الكربونية الهيدروجينية (C-H) مستقرة تماماً في درجة حرارة الغرفة . أما اذا لزم حصول التفاعل بسرعة فانه يتوجب تقديم طاقة كافية ، تسمى بطاقة التنشيط (activation energy) ، لاتاحة تقطيع الاربطة الكربونية - الهيدروجينية . ومتى ما يتم هذا تصبح الطاقة الناتجة عن التفاعل كافية لامداد العملية بالوقود في تفاعل مسلسل .



تملك التفاعلات التلقائية الطاقة الكامنة لاستمرارها تلقائياً، ولكنها تعمل ذلك فقط اذا أمكن اقتحام حاجز الطاقة المنشطة، وتقوم الانزيمات بتخفيض هذا الحاجز بتكوين عقدة (complex) وسيطة وقيّة مع العامل المتفاعل على اضعاف الرابط المكون للحاجز. وهذه القدرة لا تجعل من الانزيمات محفزات (catalysts) نوعية للغاية فقط، وانما تجعلها أيضاً أكثر فعالية من التحفيز الحامضي أو القاعدي. وبفضل طاقات التنشيط الكائنة في التفاعلات الكيميائية الداخلة في الانشطة الخلوية، تتمكن الانزيمات من ضبط العمليات الحياتية والتحكم بها بدقة صارمة. واذا لم تكن التفاعلات التلقائية تضم حواجزاً للطاقة وكانت تبدأ فوراً، لكنت الحياة مستحيلة.



الشكل ١/١٣ - رسوم بيانية توضح تفسخ اليوريا •

بالرغم من كل هذا، ان النشاط الرئيس للمنظومات البيولوجية وأساس النمو والتكاثر هو تمثيل أو تصنيع الجزيئات المعقدة من مركبات صغيرة. وهذه التمثيلات ليست تفاعلات تلقائية، بل تحتاج الى امداد من الطاقة. وهي في الجانب الانحداري من التوازن، والمنتجات تتضمن طاقة أكثر من المتفاعلات (reactants). وعليه، فإن هذه ليست التفاعلات التي تنطلق تلقائياً وبالنتيجة يتعذر تنفيذها بواسطة محفز. انما يخال للناظر المستطرق أن ذلك هو ما تفعله المنظومة البيولوجية تماماً. فكيف يمكن هذا، إذن؟

بدأت الطريقة التي تنجز بها الخلية التحويلات الكيميائية تبرز واضحة للدارسين خلال الفترة ما بين عامي ١٩٣٠ و ١٩٤٠ حين تم اكتشاف التفاصيل الكيميائية الخاصة بالتجريد البيوكيميائي للغلوكوز. أدرك البيوكيميائيون أن لا بد من وجود أسلوب تستخدمه الخلية في تقبل الطاقة الكيميائية وتحويلها من مركب الى آخر، وقد وجد ان العوامل البيوكيميائية التي تقوم بهذا الدور هي المركبان الفوسفاتيان ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP: أتب) وثنائي ADP (أدب) (adenosine di-and tri-phosphate).

في عام ١٩٤١ اورد فريتز ليمان^(١) (Fritz Lipmann) فكرة الرابط الفوسفاتي العالي الطاقة، ومعها بدأت الاوساط العلمية تفهم بوضوح دور هذه المركبات في البيوطاقويات (bioenergetics). ان الاتب مركب ذو طاقة كامنة عالية، وعندما يفقد مجموعة فوسفاتية بالحلمة لتكوين الأدب والفوسفات اللاعضوي، يؤدي ذلك الى تحرير كمية من الطاقة كبيرة لحد ما. في الأحوال القياسية أو الامامية (standard) التي يكون فيها رقم بدس^٧ (معكوس درجة تركيز الهيدروجين في المحلول PH ودرجة الحرارة خمس وعشرون (°٢٥) مئوية، يبلغ تغير الطاقة السائبة الامامي، ديلتا جي 'ΔG'، في حلمة الاتب

بمقدار ٣٠٥٠ كج (-30.5 KJ) • (ملاحظة : في الواقع ، في الاحوال الخلوية ، يشكل المنغيز ++ (Mg++) عقدات (complexes) متباينة الاتساب مع الأتب والأدب والفوسفات ، وهذا مع عوامل أخرى تؤثر على توازن التفاعل، ينزع الى رفع طاقة الحلقة للأتب الى قيمة او رقم أعلى).

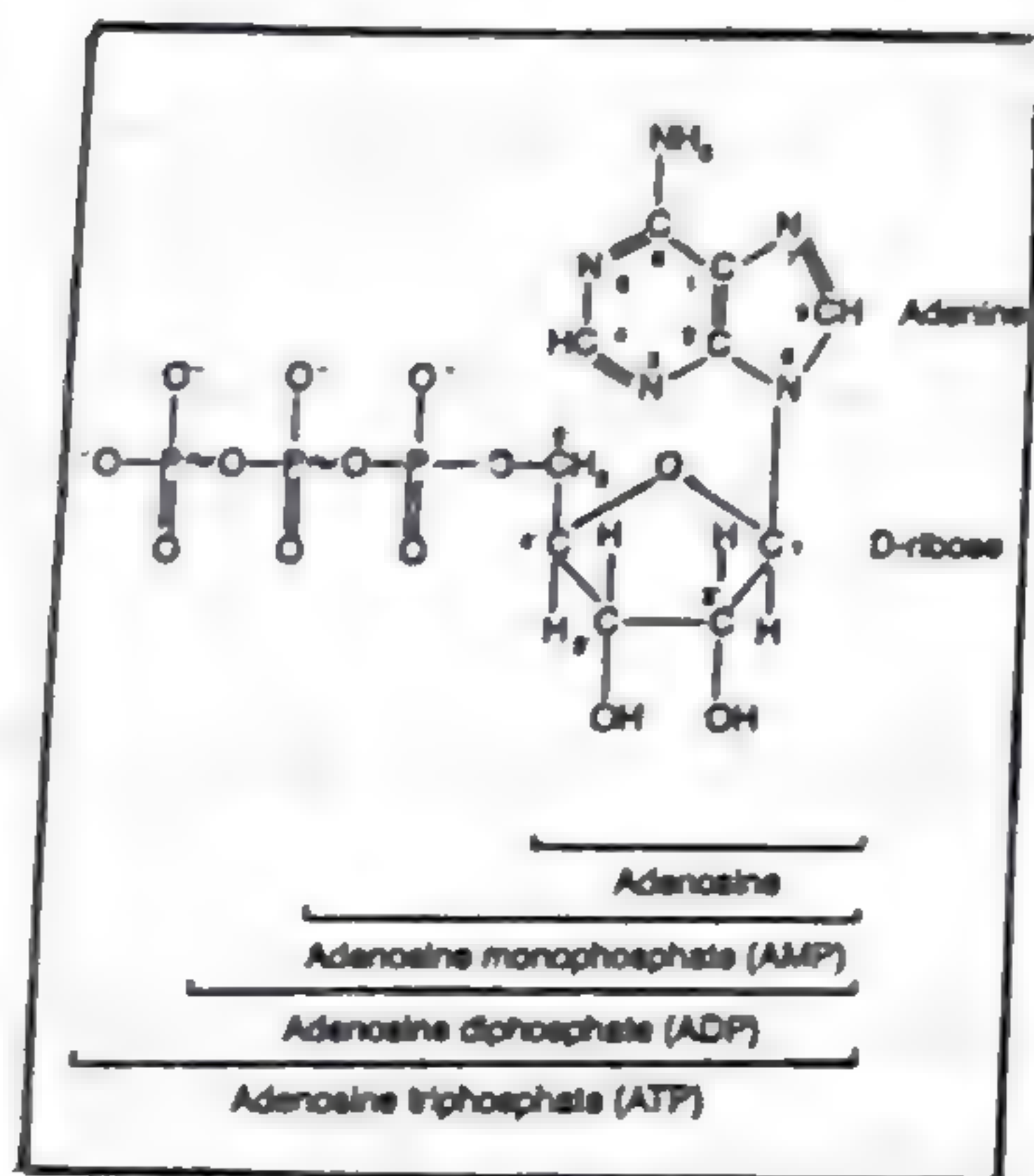


وانطاقة السالبة المتغيرة بقدر ΔG هي الطاقة المحركة للتفاعل، مع بث الحرارة في المحيط بنفس الاثناء. يكون رقم او قيمة تغير الطاقة سالبة (-) عند تحرير الحرارة لأنها تمثل تنقيصا في محتوى الطاقة الكلي. وتبلغ معادلة اطلاق الطاقة $\Delta G = 0$ (ديلتا جي = صفر) عند حلول المنظومة في التوازن في درجة حرارة وضغط ثابتين. يكون التفاعل التلقائي قيمة سالبة لتغير الطاقة السالبة، وكلما ارتفعت القيمة السالبة هذه كلما كانت قوة التفاعل الدافعة أعظم. (ملاحظة: تمثل جي G الرمز لتسارع الجاذبية ، وتشير ديلتا الى الترتيب الذري لعنصر ما بالنسبة الى ذرة كاربون معينة في المركب).

لذلك، فاذا أرادت خلية انجاز عملية تمثيل يضم الناتج فيها مستوى من الطاقة أعلى منه في التفاعلات أو العوامل المتفاعلة، أي ان التفاعل تصاعدي، فإن التفاعل هذا يتغير الى تفاعل تلقائي بتصنيع مشتق منشط من المتفاعل. يتم هذا بنقل فوسفاته الى المتفاعل من خلال عملية الفسفرة وبواسطة ثلاثي فوسفات الادنوسين (أتب). ومن الامثلة على هذا، هي عملية البيوتمثيل أو التمثيل الحيوي (biosynthesis) للغلوتامين (glutamine) وهو حامض اميني مهم في البروتينات . تستلزم عملية تكوين رابط اميدي (amide bond) مع حامض الغلوتاميك والامونيا طاقة قدرها (١٤٢) كج. من جهة أخرى، يمكن تحويل حامض الغلوتاميك الى انهايدريد مختلط بالتفاعل مع الأتب في تفاعل تلقائي. فيكون هذا المشتق، فوسفات الغلوتاميل (glutamyl phosphate)



الآن ذا مستوى طاقة أعلى من الغلوتامين بحيث أن التفاعل مع الامونيا لتكوين الغلوتامين يصبح تفاعلا انحداريا ينطلق تلقائيا ، واجمالي حاصل تحويل حامض الغلوتاميك الى غلوتامين ذي طاقة أعلى باستخدام أتب ذي مستوى من الطاقة أعلى بدوره هو (١٦٣ كج) صافية من الطاقة ، وهذه تكفي لدفع التفاعل جيدا لانجاز الناتج.



الشكل ٢/١٣ - بنية مشتقات فوسفات الادنوسين

هذه هي الطريقة الاساسية التي تستخدمها الخلية لتمثيل الروابط الايسترية والهضميتيدية والجليكوسيدية (ester linkages, peptides bonds, glycosidic couplings) ، وجميعها تفاعلات حرارية باطنية تحتاج الى الطاقة . والطاقة الكيميائية في الرابط الفوسفاتي للأتب، التي تفوق الى حد كبير



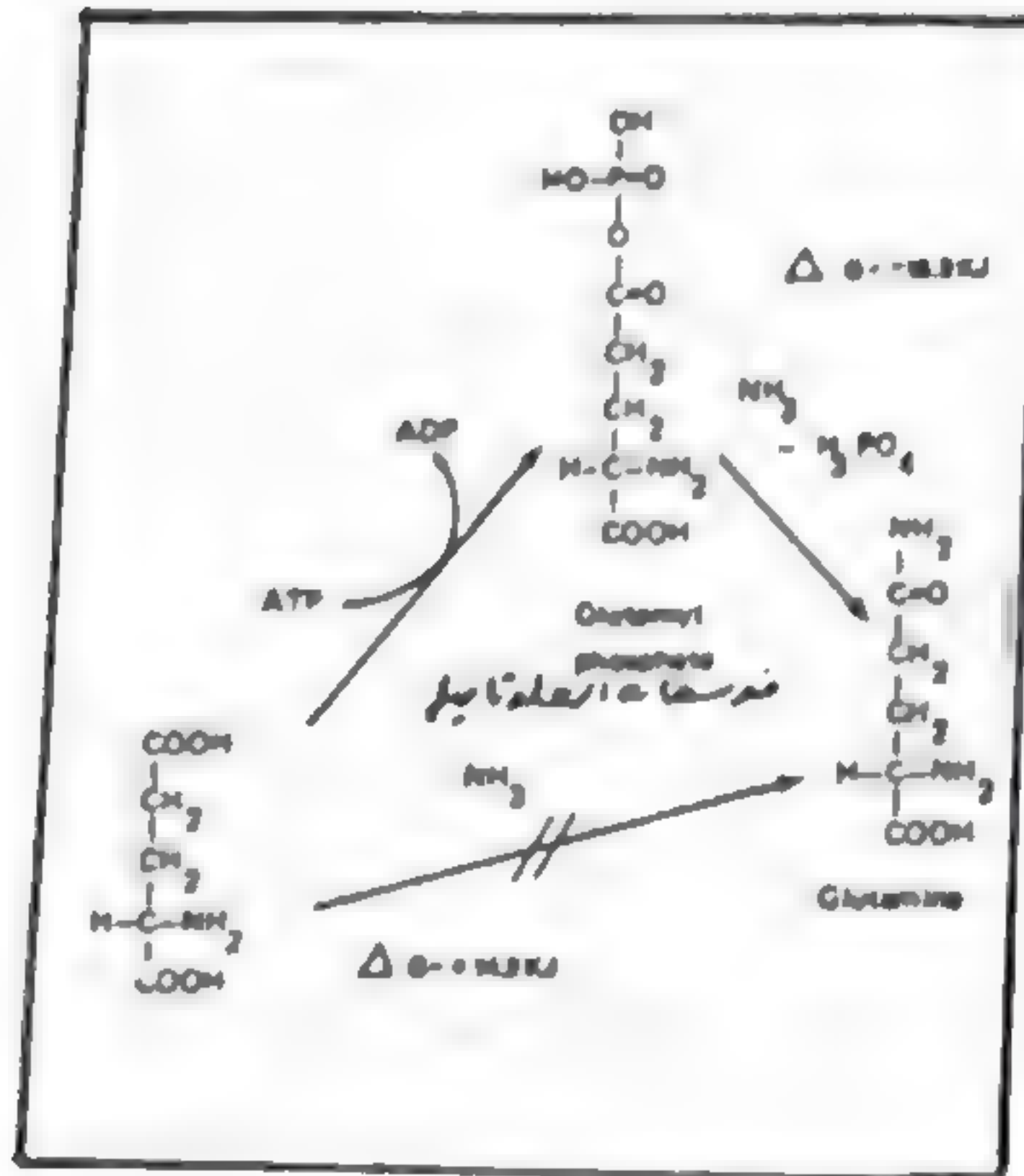
الطاقة المضافة الى المنتجات ، هي مصدر الطاقة لجميع عمليات التمثيل هذه.

لكي تقوم الخلية بعملياتها التمثيلية العديدة ، تحتاج الى توليد الـ ATP باستمرار. تقوم النباتات بآلياتها الضوء تمثيلية بإنتاج الـ ATP الخاص بها من خلال عملية معقدة مستخدمة طاقة ضوء الشمس الذي تمتصه والذي بدوره ، تستخدمه لاختزال ثاني اوكسيد الكربون الى كربوهيدرات بمثابة طاقة كيميائية مخزنة . كما ان النباتات تتضمن الميتوكوندريا ايضا وهذه تعينها على توليد الـ ATP من خلال تجزئة ، أي تحليل ، احتياطياتها من الكربوهيدرات.

تبلغ كمية الطاقة في مولة (Mole) من الغلوكوز مقدار (2870 كج) وهي كمية الحرارة المطلقة او المبثوثة عند اكسدة الغلوكوز بالاكسجين الى ثاني اوكسيد الكربون والماء. (ملاحظة: يبلغ وزن المولة الواحدة من الغلوكوز (180) غراما).



والحيوانات التي تستخدم النباتات كطعام لها تستمد حاجتها من هذه الطاقة الكامنة في الاربطة الكيميائية للسكر لتوليد الـ ATP الخاص بها ولاستخدام الحرارة للحفاظ على درجة حرارة ابدانها. وهي لا تحتاج الى جميع الطاقة المثبوتة كحرارة ، فتخزن قدر ما تستطيع في أربطة كيميائية عالية الطاقة لمركبات كـ ATP لاستخدامها في عملياتها التمثيلية.



حامض الفلوتاميك

الشكل ٢/١٢ - عملية التمثيل الحيوي للفلوتامين

| | |
|------------------------|-------|
| Glycerol 3-phosphate | — 9.2 |
| 3-Phosphoglycerate | —10.0 |
| Glucose -phosphate | —13.8 |
| Fructose 6-phosphate | —15.9 |
| Glucose 1-phosphate | —20.9 |
| ATP | —30.5 |
| Acetyl phosphate | —30.5 |
| Phosphocreatine | —43.1 |
| 1,3-Diphosphoglycerate | —49.4 |
| Phosphoenolpyruvate | —61.9 |

(KJ/mole) phosphate transfer
G Direction of

الجدول ١/١٢ - الطاقة السائبة الامام لعملية حلماة المركبات الفوسفاتية

لا يعود سبب استخدام المنظومات الحية للآتب كعامل لنقل المجموعة الفوسفاتية الى كونه المشتق الفوسفاتي ذو أعلى طاقة ممكنة ، وانما لأنه يأتي في مستوى وسيط بين المركبات الفوسفاتية . ولكي يتمكن الآتب من العمل كعامل لنقل الفوسفات يتوجب عليه أن يملك القدرة على تقبل مجموعات الفوسفات من بعض المركبات ويسلمها الى أخرى . وعليه فإن المتعضيات تملك مجموعة من مركبات الفوسفات تؤلف مدرجا من الطاقة السائبة . وعندما يجري توليد الآتب في العمليات البيولوجية يتقبل الآتب بنفس الوقت فوسفاته من مشتق فوسفاتي أشد طاقة منه بذاته ، وذلك لكي يكون التفاعل تلقائيا .

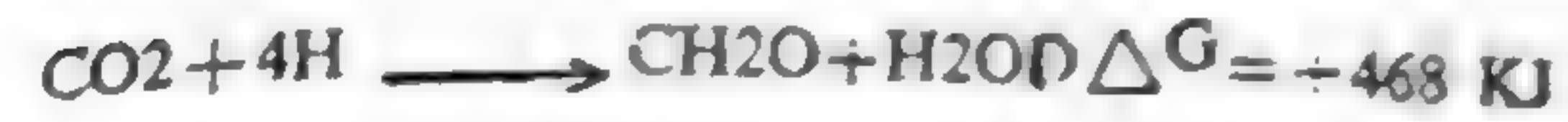
الفصل الرابع عشر - القوة الدافعة

ان المنظومة البيولوجية أكثر من تجميعه من المواد العضوية ، فهي آلية بوسعها أن تتناول الطاقة وتستخدمها لترقية الكيمائيات البسيطة الى ترتيبات أكثر تعقيدا . لذلك فإن السر في نجاح اختلاق الحياة يتمثل بالاصل في التقاء والتحام المواد ما قبل الحياتية التي ملكت القدرة على التفاعل معا بتوافق لتسخير الطاقة المتوفرة في بيئتها . كانت جميع الطاقة ، والمستدة أساسا من الشمس ، متواجدة في شكلين اثنين . كانت متواجدة كطاقة كيميائية كامنة في بنية المواد العضوية الناتجة بفعل أشكال الطاقة المختلفة العاملة على الجو ، وبشكل ضوء الشمس الذي كان يغمر سطح الارض في كل يوم . وفي النهاية أخذت المتعضيات تستخدم مصدري الطاقة كليهما .

من بين جميع العمليات البيولوجية التي عكف الكيميائيون على دراستها واستجلاء مكنونها قلما ظهرت عملية أكثر ادهاشا واعجابا أو كانت أكثر مقاومة ومراوغة للافتتاح والانكشاف من عملية التمثيل الضوئي . لقد امكن بالتخير عزل جميع الانزيمات وغيرها من المكونات الداخلة في تجزئة الغلوكوز الى حامض البيروفيك ، وتم اخراج كل خطوة مشفوعة بالمسلسلات الكاملة للتفاعلات ، في المختبر . أما بالنسبة الى عملية التمثيل الضوئي فقد كان الامر مختلفا . اذ ، عند أخذ مستخرجات من خلايا النبات لغرض تجميع اليخضور وغيره من المكونات ، تفقد هذه المستخرجات قدرتها على القيام بعملية التمثيل الضوئي . وبرأي البيولوجيين ، كان هذا بمثابة تحطيم ساعة ومعاينة قطعها للاطلاع على كيفية اشتغالها بدلا من مراقبة الآلة التامة برمتها .

لقد كرس قدر كبير من البحوث لدراسة عملية التمثيل الضوئي التي قد تحقّق الآن تفهم الكثير منها . لما كان الضوء أحد اشكال الطاقة فقد قامت

النباتات، بالنتيجة، بتسمية الوسائل البيوكيميائية اللازمة لالتفاف طاقة ضوء الشمس وتحولها مباشرة الى طاقة كيميائية، ونجحت في توجيهها لتمثيل ثلاثي فوسفات الادنوسين واختزال ثاني اوكسيد الكربون لانتاج الكربوهيدرات. ولاختزال ثاني اوكسيد الكربون الى مستوى اختزال السكر يتطلب ما مقداره 468 كج/م من ثاني اوكسيد الكربون.



يسير الضوء في موجات من الجسيمات تسمى بالفوتونات (photons) وبدلاً من كون الطاقة متواصلة فإنها تقع في عبوات أو رزم تسمى بالكلمات (quanta، متردداً كم: quantum) وتباين طاقة كل كم عكسياً مع طول الموجة الفوتونية (يرمز الى الموجة الفوتونية) هذه بحرف (لا مبدا اليوناني). ومعنى هذا هو أن الطاقة في الكم تتضاءل مع ازدياد طول الموجة، نزولاً من ما فوق البنفسجية الى المرئية الى ما دون الحمراء. في التعبير الرياضي لكم من الضوء يرمز الحرف الصغير (ν) الى التردد أو الذبذبة (frequency)، والحرف الصغير h الى ثابت بلانك (planck's constant)، والحرف الصغير (c) الى سرعة الضوء، والحرف الكبير (E) الى كم الضوء.

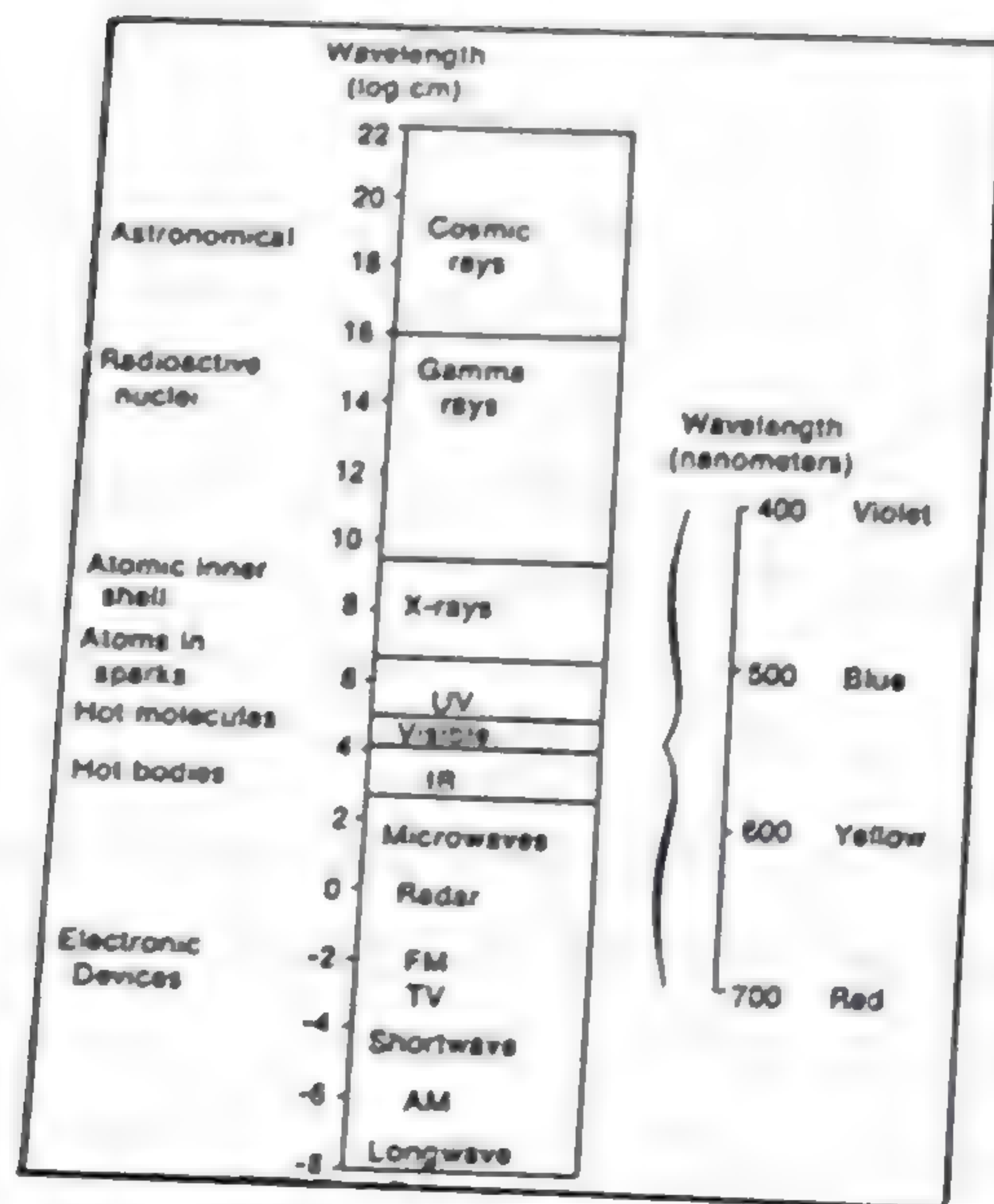
$$E = h\nu = hc/\lambda \quad E = hc/\lambda$$

يستطيع الضوء الاحمر بوجته البالغ طولها (0.68) ميكرومتر ان يذكي انتمثيل الضوئي في النباتات الخضراء بكم ضوء يعادل (2.9×10^{-12}) ارغفة =

Erg = والارغفة هي وحدة الشغل في النظام الستيمري الغرامى centimetre-gramme system ، وتمثل الشغل الذي تنجزه دايئة (تعريب دايين dyne) واحدة على مسافة سنتيمتر واحد . أما الدايئة فهي وحدة القوة في نفس النظام، وهي القوة التي تحرك غراما واحدا لمسافة سنتيمتر واحد بالثانية . ووزن الغرام الواحد يمثل قوة قدرها (980) (دايئة) . وعند تحويل طاقة قدرها (2.9×10^{-12}) الى وحدات من التفاعلات الكيميائية فإنها تناهز ما يعادل (167 كج/م) . وهذا يعني ان اختزال مولة واحدة من ثاني اوكسيد الكربون يتطلب على الاقل ثلاثة (3) كمات من الضوء، انما تطبيقاً يبدو انها تستلزم حوالي عشرة (10) كم.

في العموم، تسخن الاشياء القائمة والملوثة عند امتصاصها للضوء، وذلك لقيامها بتحويل الطاقة الى حرارة. لكن، مثلما قد تمكنت المنظومات البيولوجية من استنباط الوسائل لاستمداد الطاقة من أكسدة المواد العضوية فإنها قد نجحت ايضا في تصريف جزء من طاقة الضوء قبل ضياعها كحرارة.

ان الفوتونات القصيرة الموجة، كما بالنسبة الى الضوء ما فوق البنفسجي. تكون عالية الطاقة، ولذلك فهي مدمرة للعديد من المركبات العضوية بتحطيم أربطتها المشتركة. أما، من جهة أخرى، اذا كانت طويلة الموجة للغاية، فستكون منخفضة الطاقة وتكون ذبذبتها واطئة للغاية فيتمذر امتصاصها. ان الطاقة المتمثلة بشكل الموج، كما في الضوء، تنتقل فقط الى الاشياء المهتزة بنفس ذبذبتها. والالكترونات، كجميع المادة في حالة الحركة، تنتقل في نمط موجي ذي ذبذبة معينة تعتمد على الكتلة والسرعة. ان ذبذبات أغلب الالكترونات الدائرة حول الذرات قصيرة للغاية، بحدود الاشعة السينية، انما يمكن في الجزيئات ذوات الاربطة المتناوبة فردا وزوجا أن تكون الالكترونات المترددة على طول المسلسل طويلة الموجات. وهذه المركبات هي



الشكل ١/١٤ - الطيف الكهرومغناطيسي

تحتوي النباتات على عدد من الصبغات كالجزيئات (carotenes) وشبه الجزيئات (carotenoids) (تعطي اللون الاصفر - البرتقالي الذي في الجزر) تقوم بامتصاص الضوء، ولو ان اليخضور هي الجزيئات الرئيسة التي تمتص الضوء في النباتات الخضراء، وعندما اليخضور كئياً من ضوء الشمس تعود الطاقة في اليخضور المنشط المستليء بها الى التبدد بسرعة من خلال التلصف ان لم يتم نقل الالكترونات الى حالة أكثر استقراراً.

في عام ١٩٣٧ وقف روبرت هيل^(١) (Robert Hill) من جامعة كمبرج على اكتشاف أفضى الى تشخيص عدد من حوامل الالكترون (carriers) وظيفتها نقل الالكترونات من اليخضور المثييج. وجد هيل أن عند وضع أو

مواد عضوية ملوثة، تمتص الضوء الأزرق أو الأحمر أو الأصفر وتعكس اللون للشمس.

ليست مدارات الالكترونات ثابتة وإنما تنقسم الى وحدات فرعية أو مسارات (مدار = orbit، مسار = orbital) تمثل مدى من مستويات الطاقة ضمن المدار. وعليه، عندما تمتص الجزيئة كماً من الضوء تنتقل الطاقة الى الكترونة (electron) يتم رفعها الى مسار ذي مستوى أعلى من الطاقة. وفي هذه النقطة يقال لها بأنها في حالة إثارة أو تهيج (excited state). غير ان حالات التهيج هي تضاريس غير مستقرة ولا تلبث الالكترونات ان تعود الى المستوى الاوطأ، أو حالة الهمود (ground state)، مستغنية عن الطاقة بئث الضوء (التلصف) (emission of light-fluorescence) أو بواسطة التصادمات (collisions)، ومولدة الحرارة.

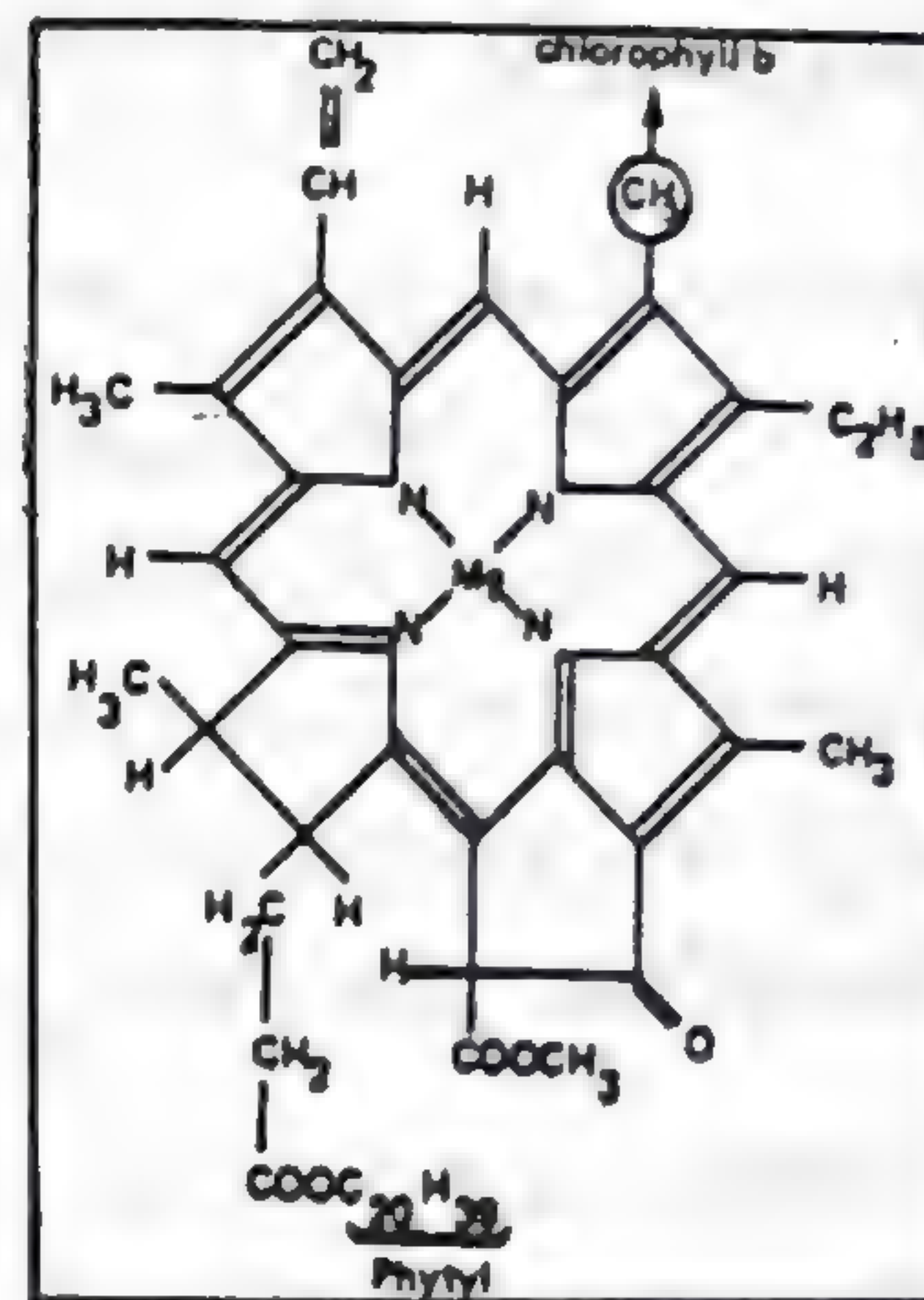
لتخزين الطاقة لانجاز شغل يجب الحيلولة دون تبددها كحرارة أو كضوء وصيها في شكل يمكن استخدامه، وهذا بالنسبة الى المنظومات البيولوجية يعني تحويلها الى طاقة كيميائية. عند ضخ ما يكفي من الطاقة في الالكترونات يمكن في الغالب استحثائها لترك مدار الجزيئة المثييجة والانتقال الى مادة متقبلة، وأنداك يصبح هذا بالتفاعل الكيميائي التأكسدي الاختزالي يقوم عامل الأكسدة أو المؤكسد (oxidant) فيه بتقبل الكترونة من مورد donor ويختزل به. وهذا هو المنبع أو الباعث الاصلي لعملية التثيل الضوئي والطريقة التي يتم بها تحويل (conversion) ضوء الشمس مباشرة الى طاقة كيميائية.

تعلق الاوراق اليابسة او المسحوقة (powdered) في محلول من الماء واوكسالات الحديد الثلاثي التكافؤ (ferric oxalate) أو أية املاح أخرى للحديد الثلاثي التكافؤ، تبدأ بإطلاق الاوكسجين لفترة ساعة او اكثر، وهذا أطول بكثير من بدون املاح الحديد الثلاثي التكافؤ. ثم كشفت دراسات لاحقة انه بالامكان استبدال املاح الحديد الثلاثي التكافؤ. بالكويون أو صبغات معينة. وفي جميع الحالات كان للمواد المضافة خاصية واحدة مشتركة، وهي انها كانت مؤكسدات قوية.



أطلقت هذه الملاحظة البحوث عن حاملات الكترولن طبيعية الحصول في النباتات يمكن أن تكون لها صلة بعملية التمثيل الضوئي، وفي النهاية تم العثور على متقبلتين للكترولن كاتتا من الانزيمات المساعدة واتسبتا الى اللبنة البنائية لحوامض النوويك، وهما ثنائي نووتيد ادينين النيكوتيناميد

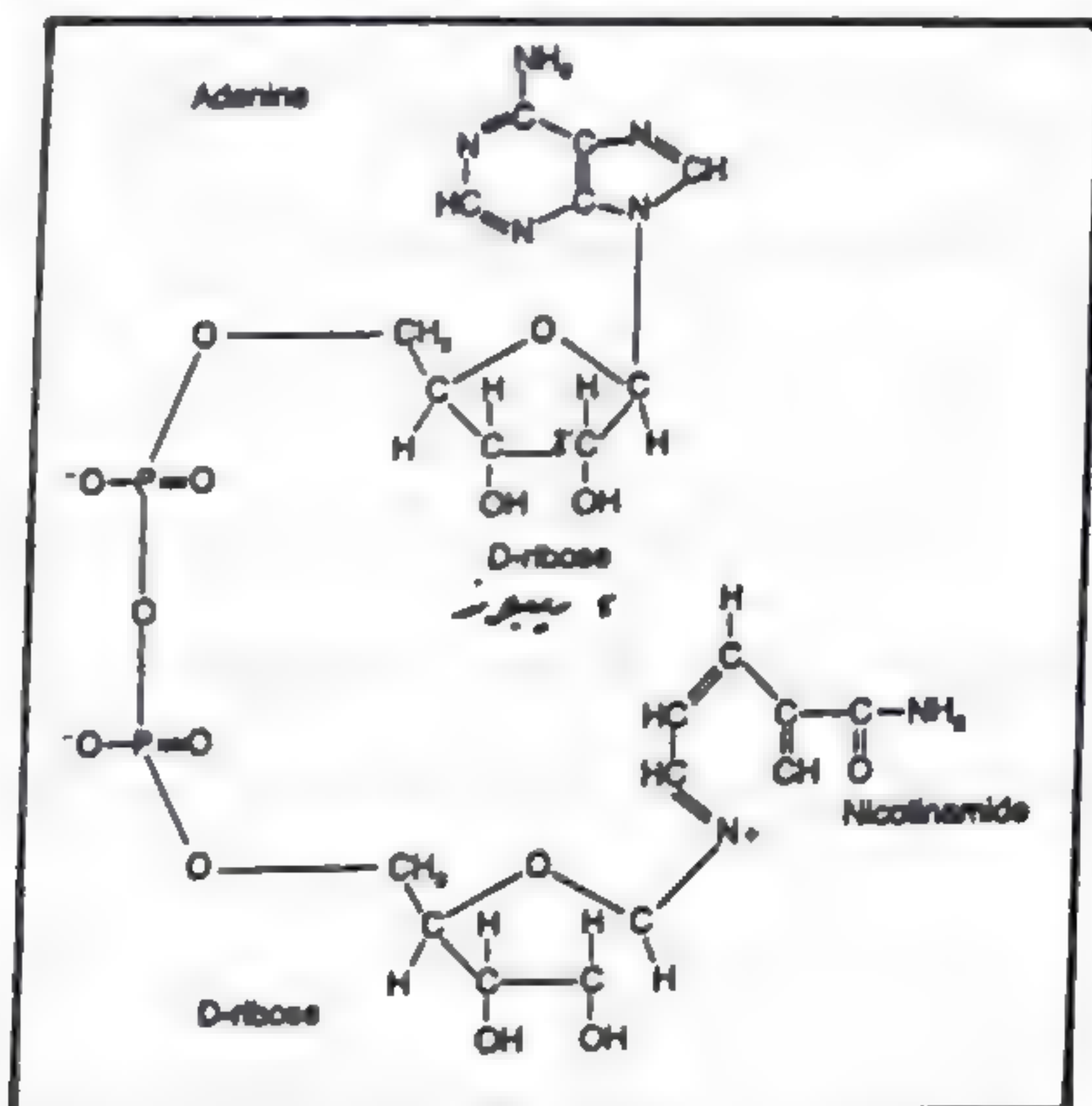
NAD (ناد) ومشتقه المفسر (Phosphorylated = — NADP NAD).



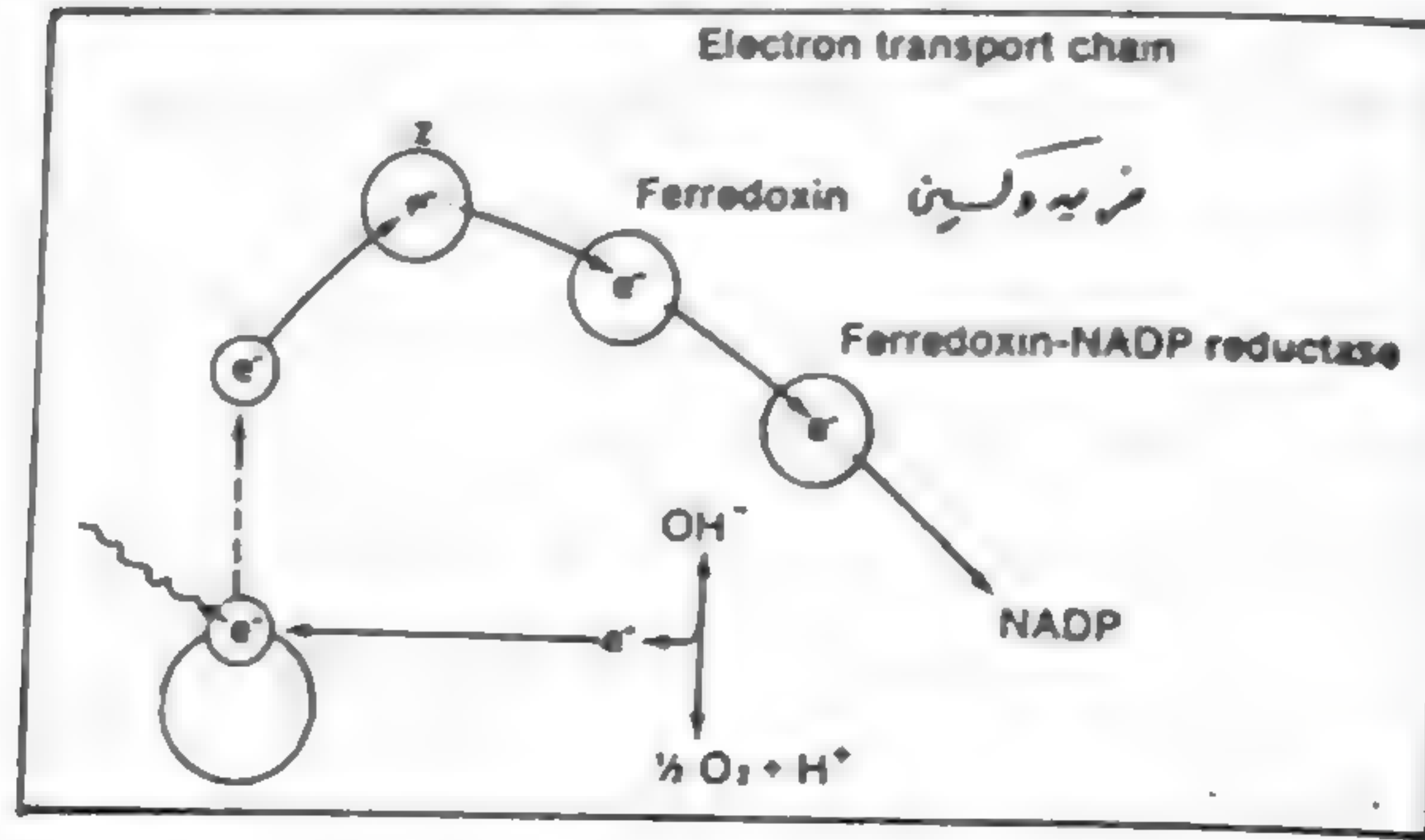
الشكل ٢/١٤ - بنية اليخضور ا. تتألف مجموعة الفايتل (phytyl) من سلسلة طويلة غير متفرعة .

ان شدة النيكوتيناميد في الجزيئة هي التي يمكنها تقبل أو اخذ واعطاء الالكترونات . ومثلما ان ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP) هو حامل للفوسفات، فكذلك ايضا ان ثنائي نووتيد النيكوتيناميد (NAD) ومشتقه المفسر (NADP) هما حاملان للالكترونات. اما في الانسان والفقرات الاخرى فيتوجب توريد الجزء النيكوتيناميدي من المركب من خلال الغذاء بشكل نياسين (Niacin) وهو احد فيتامينات المجموعة ب (B vitamins) .

بالرغم من ان (NAD) و (NADP) متشابهان في التركيب الكيميائي ، فان كلا منهما يلعب دورا مختلفا عن دور الآخر. يتقبل (NAD) الالكترونات الموجهة الى الاوكسجين في التنفس . بينما يقوم NADP بتوجيه الكترولناته لاختزال المركبات العضوية ، وعليه فان (NADP) اسرع في اختزال ثاني اوكسيد الكربون الى سكر.



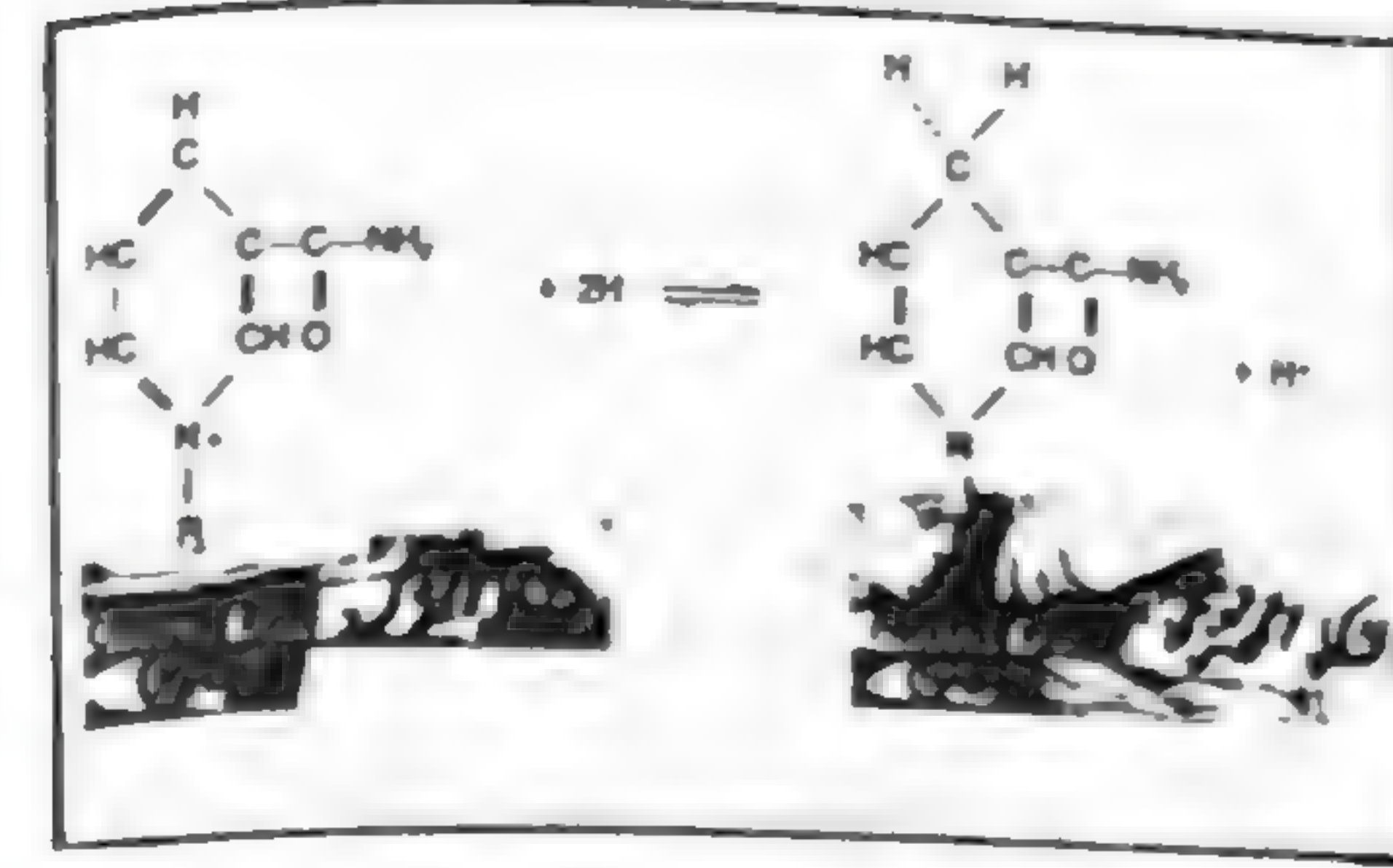
الشكل ٢/١٤ - ثنائي نووتيد ادينين النيكوتيناميد NAD . اما فوسفات ثنائي نووتيد ادينين النيكوتيناميد NADP فيتضمن مجموعة فوسفاتية ملحقة في ٢-هايدروكسيل الريبوز (2-hydroxyl of ribose) بجانب حلقة الادنين .



الشكل ٤/١٤ - تستخدم الإلكترونات العالية الطاقة من اليخضور المنشط (energised) لاختزال NADPox إلى NADPred

وما أن يتم اختزال NAD إلى NADP حتى تكتمل الزردة (link) من امتصاص ضوء الشمس إلى التمثيل الضوئي، وأنداك يتسنى لهذه الانزيمات المساعدة المختزلة أن تشارك في عمليات التحويل الكيميائي المختلفة بما فيها عمليات الكربكسجة (carboxylations) التي تسوق نووتيدات البيريميدين المختزلة.

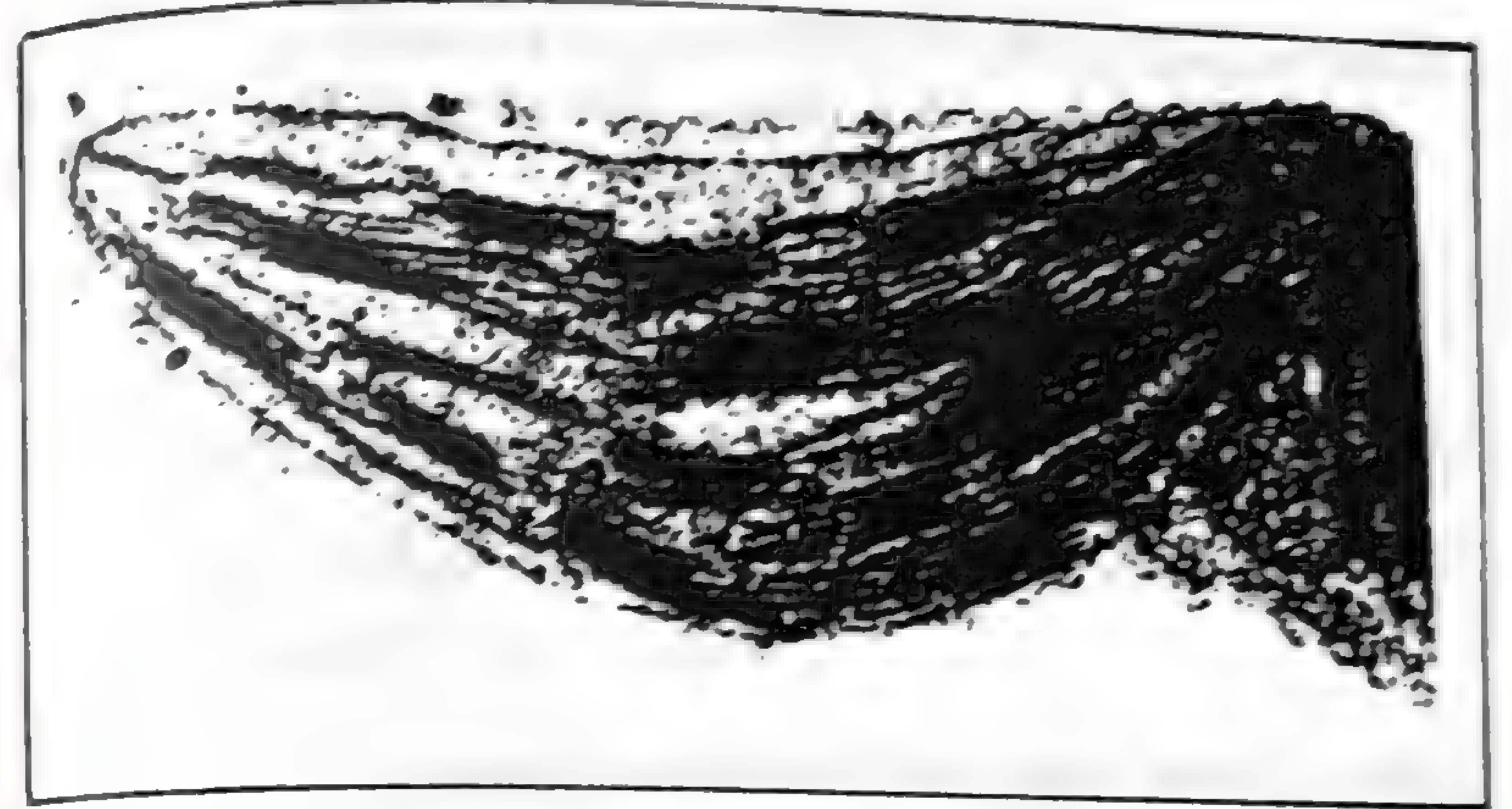
كان يفترض في العموم أن المتعضيات الضوء تمثيلية تستحصل جميع الأت ب ATP الذي تحتاجه من تجزئة الفلوكوز، مما ينم عن أن الفلكلة أو غيرها من عمليات التجربة المائلة كانت قد سبقت عملية التمثيل الحيوي للآتب في نشأة الحياة . أنا في عام ١٩٥٤ اكتشف كل من دانيال ارنون (Daniel Arnon)، وميري بيل آلن (Mary Belle Allen)، وفريدريك ويتلي^(٢) (Frederick Whatley) ما سمي بعملية الفسفرة الضوئية (photophosphorylation) لاحظ هؤلاء أن الجبيلات اليخضورية، بدون معونة من الجسيمات (particles) الخلوية الأخرى، تملك القدرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون وعلى التحويل المباشر لطاقة الضوء إلى أت ب.



لا يتقبل NADP الإلكترونات من اليخضور المنشط مباشرة، وإنما يتم نقل الإلكترونات في مسلسل من مركبات اختصاصية، وهنا في هذه النقطة يصبح الفريدوكسين، وهو بروتين الحديد - الكبريتيد الذي ربما كان أول بروتين تستخدمه الخلايا الحية، لأنه ذو أهمية ملحوظة. عندما تنشط الإلكترونات في جزئة اليخضور تقوم بترك هذا المركب وترحل إلى جزئة يخور أخرى موسومة (P700)، وتقوم (Z)، وهي متقبلة إلكترونات قوية، بسحب الإلكترونات المشطة من (P700). بعد ذلك تقوم (Z) بترحيل الإلكترونات إلى الفريدوكسين الذي يجري اختزال حديده من ثلاثي إلى ثنائي التكافؤ (from Fe⁺⁺⁺ to Fe⁺⁺) في العملية . ومن الفريدوكسين يجري ترحيل الإلكترونات إلى حاملة الكترون، ريدكتاز - اوكسيد و NADP

فريدوكسين إلى NADPox حيث تتحول إلى NADPred (ferredoxin-NADP oxido-reductase to NADPox.) NADPred converting it to NADP red.) وفيما يتخلى الفريدوكسين عن الإلكترونات يعود يجري أكسدة حديده الثنائي إلى الثلاثي التكافؤ (from Fe⁺⁺ back to Fe⁺⁺⁺) وهكذا يحصل تدفق ضوئي الاستحثاث للإلكترونات من اليخضور إلى NADP إلى أن يتم اختزال جميع ال NADP .

هذه هي العملية الأيسر، وربما الأصلية، لتسخير طاقة الشمس المشعة لانتاج الأتب. كانت عملية تكوير الأتب تتم في معزل تام عن أوسطة (ح وسط substrates المواد العضوية أو الأوكسجين. وعندما جرى اضاءة الجيلات اليخضورية المعزولة في حضور الأتب ADP والفوسفات اللاعضوي، تكون الأتب بوتيرة عالية، وكلما طالت فترة اضاءة الجيلات كلما تعاظم مقدار الأتب المتكون.



الشكل ٥/١٤ - جيلة يخضور الطماسة منظورة من خلال مجهر الكتروني. الأقسام المحززة هي الحوصلات الرقائقية مع الأغشية التي تقوم حواجز الغزل الجوهري لعملية التمثيل الضوئي. الصورة مكبرة (٢٢٠٠٠) مرة.

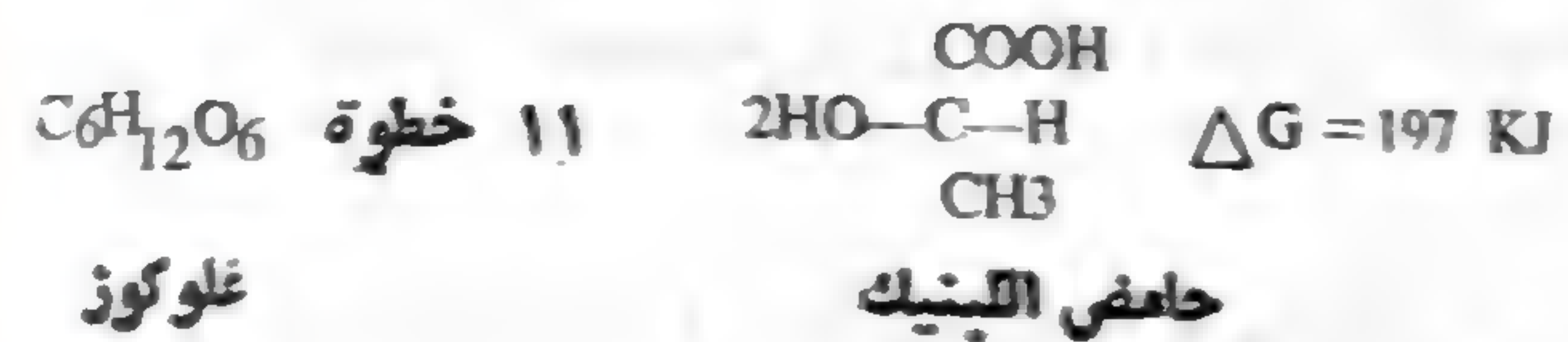
لا تمس الحاجة الى مورد الكترونيات خارجي في عملية الفسفرة الضوئية. ينشأ تولد الأتب من تدفق الالكترونات دائريا (cyclic) من اليخضور المتهيج الى الفريدوكسين، ثم من خلال آلية انزيمية، ورجوعا مرة أخرى الى اليخضور بسلسلة من الحاملات، ولكي تتم هذه العملية يقتضي فصل مورد الالكترون الاول او عزله عن مستقبل الالكترون الاخير، والا فتختل دورة تدفق الالكترون. ينشأ هذا الفصل بفعل الحاجز العازل الموجود في الغشاء الدهني، وهذا هو سبب عدم حصول عملية التمثيل الضوئي في السوائل المعزولة، على نقيض المستخرج للفلكلة اللاهوائية، والتكاملية (أي عدم تجزئية: integrity) البنيوية ضرورة مطلقة لعملية الفسفرة الضوئية، وكانت الحياة لتستحيل لولا الخواص الفريدة للغشاء الدهني.

تتمكن المتعضيات الضوء تشيلية من توليد الأتب بالتفاف واستخدام طاقة ضوء الشمس مباشرة. ولا يستبعد ان كانت هذه الطريقة الابتدائية التي استخدمتها الخلايا البدائية لانتاج ما تحتاجه من الأتب. غير أن تجريد الغلوكوز ايضا يرجع الى أصل اولي وهي مثال البساطة. في عملية التمثيل الضوئي تقوم المتعضيات بتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كيميائية ببناء مركبات عضوية ذات مستوى أعلى للطاقة. وفي عملية الفلكلة تتناول المتعضيات الغلوكوز المتضمن لتلك الطاقة الكيميائية وتجريده الى مشتقات ذات طاقة أخفض، مستخدمة فارق الطاقة لانتاج الأتب ودفع خطوات التفاعل.

عندما وجد بوختر في عام ١٨٩٧ أن بوسع المكونات الكيميائية من الخميرة تجزئة الغلوكوز الى ايثانول وثاني اوكسيد الكربون خارج بنية الخلية، اكتشف الطريقة الأصلية للمنظومات البيولوجية لاستخراج الطاقة الكيميائية من المركبات العضوية. آنذاك ظن بوختر ان التخمر كان تفاعلا

كيميائيا مفردا تخفزه انزيمه اسمها زيماز (Zymase) ، لكن عندما تم حل آليه التحول برمتها في الأخير، تبين ان تجزئة الغلوكوز تألفت من أحد عشر تفاعلا منفصلا، كل منها محفز بأنزيمه نوعية . وهذا هو مسلك ايمبدن - مارهوف ، موسوما باسمي البيوكيميائيين الالمانيين اللذين قاما بافتراض ورسم الخطوات الحرجة للسلسل اثناء أواخر العشرينيات وأوائل الثلاثينيات من هذه القرن.

تخمر خميرة صانع البيرة (Breuer) الغلوكوز الى ايثانول وثنائي اوكسيد الكربون، لكن تقوم بكتيريا مختلفة بتوليد الاسيتون والبيوتانول وحمض الخليك والايثانول كمنتجاتها النهائية للتخمر . غير ان التجزئة الرئيسة هي التجريد اللاهوائي للغلوكوز الى حامضي البيروفيك واللبنيك. تمثل هذه التجريد الابتدائي للغلوكوز الذي يتواجد في جميع الكائنات الحية ، والموروث من اللاهوائيات البدائية التي كانت أول اشكال الحياة على الارض . وقد جرى تمديد سياق التفاعل اثناء النشوء والتطور من قبل متعضيات مختلفة للحصول على منتجات متنوعة . في الحيوانات، تباقي المسلك اللاهوائي في تقلص العضل حيث يظهر حامضا البيروفيك واللبنيك بمثابة منتجات نهائية اولية قبل ادخال الاوكسجين للمزيد من اكسدة ثاني اوكسيد الكربون والماء.



كما اكتشف بوختر، تبدأ جميع عملية التخمر برمتها بمجرد جعل جميع التفاعلات معا في السائل . وبما انه تبين ان المسلسل يتألف من تفاعلات منفصلة مع امكان اقامة كل منها منفصلا في المختبر ، تأتي منتجات كل خطوة

بمثابة التفاعلات أو الوسط لانزيمه التفاعل اللاحق . وعليه، مع جميع المكونات متواجدة ، تتواصل عملية تجزئة الغلوكوز بلا انقطاع عبر كل خطوة حتى المنتج الختامي.

لانجاز عملية الفلكلة تجري فسفرة الغلوكوز مع الأتب بحيث يتم اثناء التجزئة انتاج مشتقين اثنين بمستوى طاقة اعلى من الأتب. وبالتالي يمكن هذان المشتقان العالي الطاقة من توليد الأتب بترحيل مجموعة فوسفاتها الى الأدب (ADP) . واجمالي النتيجة في عملية تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك هي ان جزيتين من لأتب اللتين استخدمتا لفسفرة الغلوكوز تؤديان

الى تكون اربعة أتب من الأدب لحصيلة صافية من اثنين أتب. يجري اثناء العملية اختزال NADox (ناد مؤكسد) الى NADred (ناد مختزل)، انما يعاد توليده في النهاية عندما يقوم بتحويل حامض البيروفيك الى حامض اللبنيك . وتصبح المعادلة الاجمالية لمجموع التفاعلات:



عندما تجري تجزئة الغلوكوز بخطوات لاستدراار الطاقة الكيميائية لاتاج الأتب، يوجد تفاعل كيميائي واحد يعمل بمثابة المفتاح الى نقل الطاقة . وهذا التفاعل هو اكسدة الغليسر الديهيد ٣ - فوسفات بواسطة NADox (glyceraldehyde 3-phosphate) مع الصفرة المتزامنة لرفع الوسط (intermediate) الى ١-٣ داي فوسفو غليسر (1,3-diphosphoglycerate) وهو مشتق فوسفاتي ذو طاقة عالية طاقته أعلى من الأتب. في التفاعل الختامي للمسلك يعاد توليد NADox في عملية اختزال حامض البيروفيك الى حامض اللبنيك بواسطة NADred ، متما بذلك دورة تفاعل الاكسدة - الاختزال، وكان عند هذه الخطوة من الاكسدة بواسطة NADox ان تم

استرجاع بعض الطاقة المضمنة في الغلوكوز بفعل اختزال ثاني اوكسيد الكربون في عملية الفسفرة ، وذلك بتفاعل عكسي للاكسدة .

ما هو اذن اساس عملية الاكسدة - الاختزال الذي يجعلها تلعب هذا الدور المركزي في الطاقويات الحيوية؟

ان الاوكسجين هو العنصر الاكثر كهروسلبية (electronegative) في الوجود باستثناء الفلورين، اما الهيدروجين فهو عنصر كهروموجب (electropositive) . وهذا التناقض الكهروكيميائي بين العنصر الاوكسجين والهيدروجين يجعل التفاعل بينهما من اشد التفاعلات الكيميائية والرابطة O-H من اقوى الاربطة . يصطحب التفاعل التأكسدي، المتسم عادة باضافة الاوكسجين، باختزال مزامن للاوكسجين ، بينما الهيدروجين هو العامل المختزل في عملية تكوين الماء . وبعبارة اعم، ان العامل المختزل هو الشيء الذي تجري اكسدته . ولما كانت ذرة الهيدروجين تتألف من الكترونة واحدة وبروتونة واحدة (H⁺) فان اضافة الكترونة اليه تؤدي الى الاختزال وازالتها منه تؤدي الى الاكسدة .

تستخدم النباتات طاقة الضوء الشمسي في عملية التمثيل الضوئي لاختزال ثاني اوكسيد الكربون الى غلوكوز بشحنة قدرها (2880) كج/م من الغلوكوز، فيكون هذا خزين الطاقة الكيميائية الذي تستمد المتعضيات منه طاقتها لانتاج الأت ب . يلزم لتحرير (2870) كج اكسدة الغلوكوز كلياً بالاوكسجين لاعادته الى ثاني اوكسيد الكربون والماء . لكن البروكاريوت الاركية كانت عاجزة عن القيام بشئ هذه العملية مع ضالة أو انعدام الاوكسجين في بيئتها .

مع ذلك يمكن سحب بعض الطاقة لأن بإمكان الذرات أن توجد

في حالات مختلفة من الاكسدة بحسب تركيبة المركب . بالنسبة الى الكربون يؤلف ثاني اوكسيد الكربون (CO₂) الحالة التامة التاكسد والميثان (CH₄) الحالة التامة الاختزال . وجميع مركبات الكربون الاخرى تمثل مستويات وسيطة من الاكسدة . يؤدي تحويل مركب الى آخر مع قلة اختزال الكربون الى الاكسدة ويسفر هذا عن تحرير فارق الطاقة السائبة بين المركبين . وبناء على هذا عند تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك بواسطة المسلك اللاهوائي تؤدي الاكسدة الى تحرير (197) كج من مجموع (2870) كج في كل مولة من الغلوكوز، وفي اثناء العملية يتم انتاج جزئتين من الأت ب من واحدة الغلوكوز، تحتوي كل منها على طاقة قدرها (305) كج . لذلك فان المسلك يلتقف ما مجموعه (61) كج من (197) كج من الطاقة ، ويستخدم الباقي وقدره (1365) كج كالقوة الدافعة لتأمين اتمام التفاعلات . فمن مجموع (2870) كج في بنية الغلوكوز تمكنت المتعضيات اللاهوائية من استخراج أو استرداد (61) كج فقط أي ما يبلغ حوالي اثنين بالمائة (2٪) .

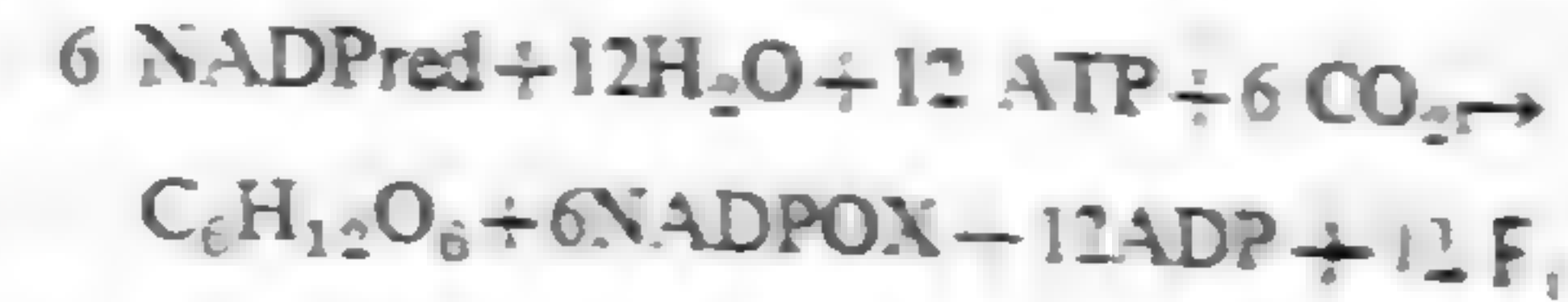
وفرت التجزئة اللاهوائية للغلوكوز الى حامض البيروفيك مصدراً يمكننا من الطاقة الكيميائية يعول عليه في انتاج الأت ب، الا انه ثبت في الأخير ان مورد الكربوهيدرات اللاحيوية قابل للنضوب، فقامت المتعضيات بتسيية مسلسل من التفاعلات لعكس العملية وتمثيل الغلوكوز من حامض البيروفيك، توجد سبع خطوات قابلة للعكس في عملية الفلكلة ، اما الثلاث الأخرى فيتم تفاديها او تجاوزها في التحويلات الانزيمية التحفيز التي تصبح تلقائية في اتجاه عملية التمثيل بفعل شحنة من ستة اربطة فوسفاتية عالية الطاقة ، أربعة منها من الأت ب واثان من الج ت ب (=guanosine triphosphate=GTP ثلاثي فوسفات الغوانوسين) .

ومثلما استبظت المنظومات البيولوجية الوسائل لاستعمال الأت ب لاعادة بناء مخازينها من الغلوكوز، فانها كذلك تستخدم ثاني اوكسيد الكربون



كمصدرها من الكربون لتمثيل الغلوكوز. كانت المتعضيات الأولية تملك القدرة على استمداد الأتب بعملية الفسفرة بتسخير طاقة ضوء الشمس واستعمال الأتب كعامل تشييط (activator) وتمكنت من تجريد الغلوكوز وغيره من المركبات العضوية للاستقاء من طاقتها الكيميائية الكامنة. كان الغلوكوز خزينا من الطاقة الكيميائية وكان بالامكان إعادة بنائه من حامض البيروفيك بشحنة من الأتب. انما لمواصلة نموها دعت حاجة المنظومات البيولوجية الى الاستمداد من مورد للكربون والتروجين عندما نظبت المركبات العضوية التي كانت متوفرة، ووجدت في الواقع خزينا لا ينضب من العناصر في الجو.

كان ثاني اوكسيد الكربون في الجو جاهز المنال ولكنه كيميائيا كان تام الاكسدة مما استلزم اختزاله جزئيا قبل امكان استيعابه كمادة عضوية. ولايجاز هذا استبقت المتعضيات الضوء تشيلية وسيلة لتثبيت ثاني اوكسيد الكربون باستخدام قدرة التمثيل الضوئي الاختزالية. استخدمت NADP^{red} كعامل اختزال وأتب لتوريد القوة الدافعة، وتمت تسمية مسلك من التفاعلات التلقائية لدمج ثاني اوكسيد الكربون بالمركبات العضوية:



بنفس الوقت تتج القدرة الاختزالية للتمثيل الضوئي المستخدمة لتحويل ثاني اوكسيد الكربون الى غلوكوز قدرة كامنة مؤكسدة بالغة الشدة (عامل مؤكسد) تستخرج الهيدروجين من مورد خارجي، ولا بد ان اشكال الحياة الأولى باليتها للتمثيل الضوئي الاقل تطورا منها في الطحالب الخضراء قابلية المحررة للاوكسجين كانت لتستخرج ما تحتاجه من الهيدروجين

من المصادر المتوفرة التي استلزم أقل قدر من الطاقة لادرار محتوياتها من الهيدروجين. يجوز أن يكون المصدر الخارجي للالكترونات عضويا ولا عضويا. وعندما يكون المورد ايسوبروبانول هو المورد يجري فيما بعد اكسدته الى ايتون، وبنفس الطريقة يتحول السكينات (succinate) الى فيومارات (fumarate) والكبريتيد (sulfides) هي مورد الالكترون اللاعضوي الذي تستخدمه بعض البكتيريا.

وفي النهاية كان الماء المادة التي لم تستخدمها البكتيريا قط والتي اصبحت فيما بعد مصدر الالكترون للطحالب الخضراء قابلية ولجميع الحياة النباتية.



ان استخراج الهيدروجين من الماء يتطلب عشرة أضعاف الطاقة المستخدمة في استخراجه من كبريتيد الهيدروجين، انما اما بسبب نضوب مورد المصادر الأولية او ربما نظرا الى محض غزارة الماء، نشأت متعضيات ضوء تشيلية تملك القدرة على استخراج الهيدروجين من الاوكسجين في جزيئات الماء. وأصبح هذا حدثا خطيرا في نشأة الحياة على الارض لأنه أسفر عن تفرغ الاوكسجين كمنتوج جانبي في البيئة.

كان انشلاق الاوكسجين في الجو هو الذي أدى في الاخير الى تطوير الوسيلة الثالثة لانتاج الأتب. كانت جميع المنظومات البيولوجية تملك القدرة على تجريد الغلوكوز الى حامض البيروفيك بالمسلك اللاهوائي لاستخراج بعض الطاقة الكيميائية. لكن أغلب الطاقة بقيت في بنية حامض البيروفيك، واستبقت بعض الخسائر والبكتيريا طرائقا لتحويل حامض البيروفيك الى مركبات عضوية أخرى. غير ان نسبة كبيرة منه اصبحت اسييل الانزيم المساعد أ (acetyl coenzyme A) التي استخدمت لتمثيل الدهون والمكونات الأخرى. وطالما بقيت البيئة خالية من الاوكسجين لم

تتواجد الوسائل لأكسدة حامض البيروفيك أكثر من ذلك لاستخراج الخزن العظيم من الطاقة الذي كان ما يزال كامنا في أربطته الكيميائية.

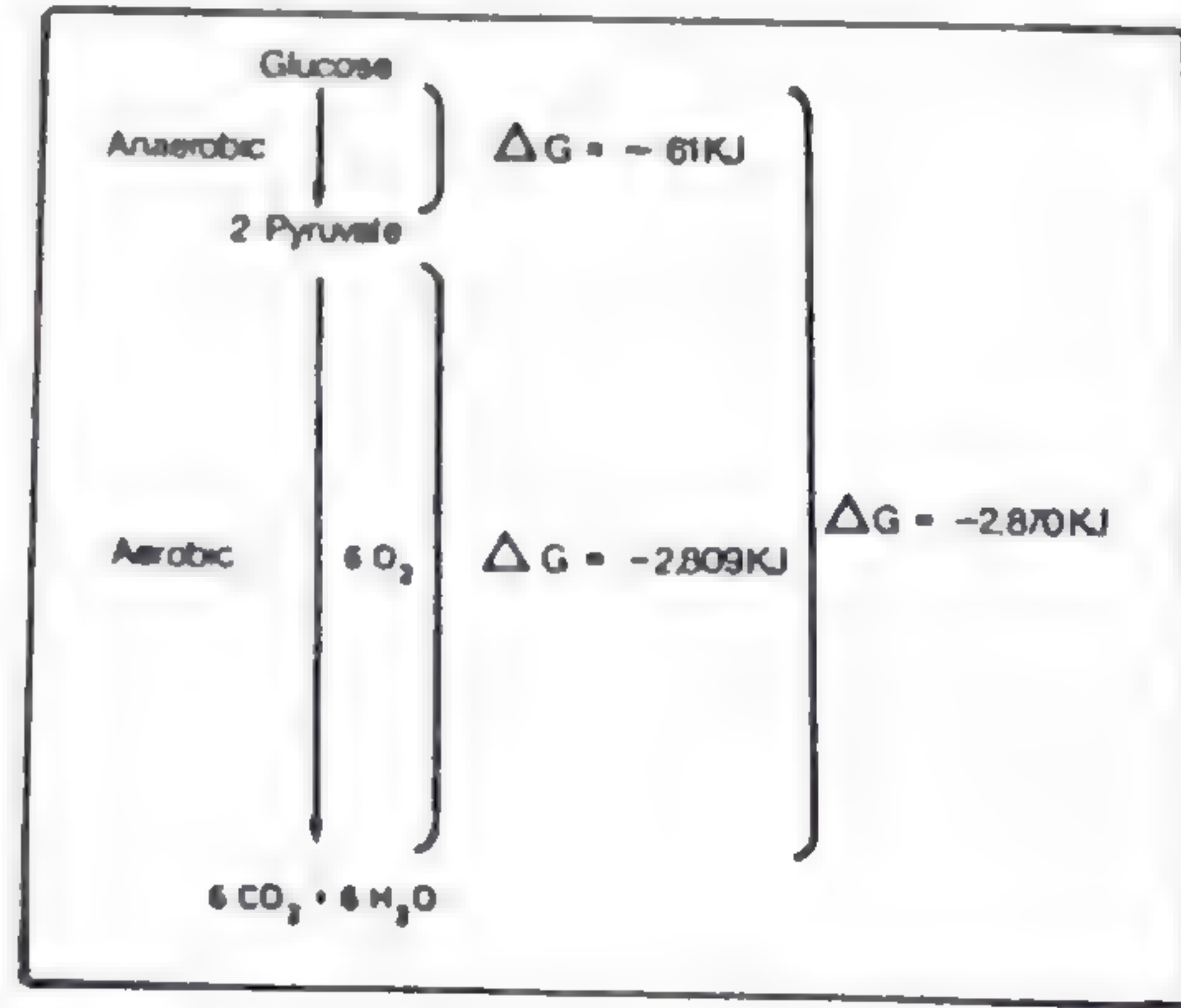
ثم خلال الفترة بين ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون وستمائة (٦٠٠) مليون سنة خلت استمر الاوكسجين المتحرر من الماء بواسطة المتعضيات الضوء تمثيلية في أكسدة نطاقي الارض المائي والجوي الى ان بدأت البيئة بمرآكة الاوكسجين الطليق او السائب . خلال فترة الالف ومائتي (١٢٠٠) مليون سنة المذكورة استتبطت بعض المتعضيات المجهرية انزيمات ومكونات أخرى أصبحت مسلسلا من التفاعلات للأكسدة الكلية لحامض البيروفيك، ولا بد أن الجهاز الجيني استغرق زمنا طويلا للغاية عبر اجيال لا تحصى لاستبط المسلك المتطور ، لكن الفائدة الانتقائية لكمية الطاقة المكتسبة كانت مذهلة.

نرى اليوم التجزئة الهوائية لحامض البيروفيك بحالتها الأكثر تطورا لكننا لا نعلم غير القليل عن المراحل المختلفة التي مرت من خلالها في عملية تطورها. في الاقل كانت بعض التفاعلات متواجدة مسبقا كتفاعلات جانبية للتخمر لتوفير الحوامض الامينية. وعلى ما يظهر تم تحويل وتمديد هذه بالمائة (١/١) من مستواه اليوم، فربما انها كانت قد سبقتها فترة طويلة من التطور. لقد انحدر المسلك في النباتات والحيوانات من خلال الميتوكوندريا، وهي الجسيمات الخلوية الفرعية السجقية الشكل التي تقوم بإمداد الأتوب في جميع الخلايا اليوكاروتية.

لم يتم اكتشاف الكيمياء التفصيلية للتنفس حتى أواخر الثلاثينات من هذا القرن عندما قام هانز كريس^(٢) (Hans Krebs) بتضييد مسلسل من التفاعلات الانزيمية تتضمن الحوامض الثلاثية الكربوكسيليك (tricarboxylic acids) المستخدمة لأكسدة حامض البيروفيك الى ثاني

اوكسيد الكربون والماء. اثناء السياق تدخل اسييل الانزيم المساعدة ١ من عملية نزع كربكسلة (decarboxylation) حامض البيروفيك المؤكسدة في ميتوكوندريونة حيث تقترن مجموعة الخلايا بحامض الاوكسالوخليك (oxalo acetic acid) لتشكيل مركب حامض السيتريك السداسي الكربون . في التفاعلات السبعة التالية يتم تجريد حامض السيتريك (citric acid) واعادته الى حامض الاوكسالوخليك بطريقة تتم بها أكسدة وحدة اسييل ثنائية الكربون الى جزئتين من ثاني اوكسيد الكربون بالاوكسجين الجزئي. في هذا المسلسل يجري على الدوام استهلاك واعادة توليد حوامض ثاني وثلاثي الكربوكسيليك المتضمنة اربعا وخمسا وستا من ذرات الكربون (carbons) في العملية الدائرية . وبالنسبة بوسع جزيئة مفردة من حامض الاوكسالوخليك انجاز أكسدة عدد لا حصر له من مجموعات الاسييل بفعل تكرار تولدها في نهاية كل دورة.

لاكسدة الغلوكوز التامة الى ثاني اوكسيد الكربون والماء من قبل المتعضيات الهوائية تصبح هذه كالاتي:



الشكل ٧/١٤ - مقارنة بين حصيلتي الطاقة من التجريد اللاهوائي للغلوكوز الى حامض البيروفيك ازاء اكسدة البيروفات pyovate الى ثاني اوكسيد الكربون والماء .

بقيت الحياة على المستوى المجهرى لما يناهز ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة، لكن الميتوكوندريا ، أو لربما اسلافها المباشرة التي قامت باستبطان المسلك الانزيمي لاكسدة الغلوكوز بالتمام ، كانت تعمل ببطء على تنمية الاندلاعة الانتشارية . ربما استغرقت تنمية الآلية مئات الملايين من السنين،

تمثل شبكة الغشاء (membrane complex) في الميتوكوندريا ، حيث يتم تجريد حامض البيروفيك. بنية من أكثر البنى واشدها تعقيدا التي استنبطتها المنظومات البيولوجية ابداء ما تزال الآليات الجزيئية لاستحالات (transformations) الطاقة التنفسية (respiratory energy) غير مستوضحة بتمامها، انما يظهر ان الميتوكوندريا تملك القدرة على اللجوء اليها لتمثيل الأت ب، والقيام بعملية الهدرجة الاجتيازية أو الخلالية (transhydrogenation) هدرجة الايسومرات في الجانب الآخر، ونقل الايونات ، وغير ذلك من العمليات الجوهرية بطريقة بالغة التعقيد. انما ما هو معروف هو ان البنية والوظيفة (structure and function) متشابتان على نحو مستغلق تقوم فيها شبكات الانزيمات باكسدة حامض البيروفيك والحوامض الدهنية بباطن الغشاء الميتوكوندري.

لابد ان الفائدة الانتقائية المتوخاة كانت عظيمة ليتسنى نشوء شيء بالغ في التعقيد للغاية مثل الميتوكوندريون ، من السهل رؤية ما الذي كسبته الميتوكوندريا عند فحص عودة الطاقة في التنفس . جميع المتعضيات تتضمن المسلك اللاهوائي للفلكلة ، موروثا من اسلافنا البروكاريوتيين المشتركين، انما اليوكاريوت بيتوكوندرياتها مددت تجزئة الغلوكوز باكسدة حامض البيروفيك كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء.

طالما كانت المنظومات البيولوجية مقتصرة على التجزئة اللاهوائية للغلوكوز نلت تستمد فقط جزيئين من الأت ب لكل جزيئة من الغلوكوز، وكان هذا حصيلة من الطاقة تبلغ فقط (٦١) كج من مجموع الكمية الكامنة البالغة (٢٨٧٠) كج المحتبسة في البنية الكيميائية . وقد اتاح تغير جوالارض الى حالة متأكسدة ذات الاوكسجين الطليق تجريد الغلوكوز في التنفس لغرض الاغتراف من الخزين الكامن غير المستطرق . وعند كتابة المعادلة الشاملة

لكن ثوابها كان هائلا ، فقد تمكنت المتعضيات القادرة على الفسفرة التأكسدية الآن من الحصول على ست وثلاثين (٣٦) جزيئة من الأت ب بدلا من اثنتين لكل غلوكوز اللتين كانت تستحصلهما من عملية التخمر ، وكانت هذه الزيادة الثمانية عشر (١٨) ضعفا في الطاقة هي التي فجرت انطلاقة الحياة الكبرى من سجنها الخلوي الميكروبي الى تعددية الخلوية وبعد جديد بكليته .

الفصل الخامس عشر - مسألة التكوين

ان جميع المتعضيات على وجه الارض، اعتبارا من ابسط خلية مفردة وصعودا حتى الانسان بذاته، ما هي الا مكائن خارقة القدرات تقوم بلا جهد ولا عناء بتحويل جزيئات عضوية معقدة ، وفرز انماط سلوكية في غاية الدقة والاتقان ، منتجة ، من المواد الخام الموجودة في البيئة، نسخا بلا عد ولا حصر مطابقة لذاتها في كثير أو قليل . تتألف العمليات الحياتية من خطوات متداخلة في تشابك مستغرق ومسيرة بضبط بالغ المهارة تتم في باطن الخلية العجيب البنية والتركيب، مع مناطق تخصصية يتم فيها انجاز تفاعلات كيميائية معينة . تشير التقديرات الى أن الخلية البشرية الواحدة تضم مائة (١٠٠) ألف جزيئة انزيمية تنجز ما بين الف (١٠٠٠) والفي (٢٠٠٠) تفاعل كيميائي، أي بمعدل خمسين الى مائة (٥٠-١٠٠) جزيئة لكل عملية. ويتضمن الجسم البشري عشرة تريليون (١٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠) خلية تقوم كل منها بدور خاص في المتعضية الكلية.

كما ان قدرة الانزيمية على تنفيق التفاعلات البيوكيميائية لا تقل بهرا واعجابا بل قل اعجازا . تتراوح وتيرة التحفيز لدى أغلب الانزيمات ما بين الف الى أكثر من خمسمائة الف (١٠٠-٥٠٠ ٠٠٠) جزيئة بالدقيقة الواحدة. انما يبدو أن الوتيرة الأسرع لوحظت لدى الانزيم كاتالاز (catalase) فبوسع جزيئة واحدة من الكاتالاز تحويل أكثر من خمسة ملايين (٥٠٠٠ ٠٠٠) جزيئة من البروكسايد بالدقيقة الواحدة!

لا غرو اذن أن تنظر الناس الى الحياة كظاهرة يمكن تفسيرها فقط بمنطوق الشرائع اللامادية . لكن، كما بالنسبة الى جميع الظواهر، بدت الخلية الحية مستغلة الفهم محيرة فقط لأنه لم يكن قد توفرت بعد ما يكفي



من المعلومات حول العمليات البيوكيميائية لتضيد سياق منطقي للاحداث الجارية في وظيفتها.

وقد بدا في زمن ما، نظرا الى أن الحياة خلقت النظام من اللانظام، بأنها أعجزت القانون الثاني للدينامو حركات أو علم الترموديناميك (thermodynamics)، والذي ينص على استحالة وقوع عمليات من شأنها أن تؤدي الى زيادة النظام. لكن هذه النظرة اخفقت في الاخذ في الحساب أن القانون الثاني المذكور ينطبق فقط على المنظومات المغلقة. أن الكون ككل، مع انعدام تبادل المادة والطاقة من الخارج، متوجه ببطء الى حالة من العشوائية التامة. بينما المنظومات الحية، من جهة أخرى، مفتوحة وليست مغلقة. أن ما يدفع عجلة الحياة هو ضوء الشمس المتدفق الينا من خارج يئتنا.

كانت قدرات التمثيل الباهرة لدى الانزيمات مذهلة ومربكة لمجرد أن تكنولوجيانا في العموم لم تكن بعد بلغت مستوى كفاءة العمليات الحياتية. أن القوان الفيزيائية والكيميائية مستمدة ومبنية على الاحتمالية الاحصائية لسلوك الجزيئات بأسلوب محدد. تحسب حركات التفاعل الكيميائي على النسبة المئوية للجزيئات التي تملك طاقة كافية وتنقل طليقة في خليط تفاعلي يصطدم بجزيئة أخرى ملائمة. أن محتوى الطاقة لدى الجزيئات في قطين (population) منها يتبع منحنى توزيعيا (distribution curve)، والجزيئات التي من شأنها تشكيل ناتج هي فقط تلك التي تضم قدرا من الطاقة يفوق مستوى معيناً. لكن المنظومات البيولوجية قد استبقت آلية تختلف كل الاختلاف عن آلية الاحتمالية في علمي الكيمياء والفيزياء، وتملك الانزيمات مواقع نشيطة حيث يقع المورد والمتقبل للتبادل الكيميائي في نفس الجزيئة وفي مواضع حيزية تجعل وقوع التفاعل محتوما تقريبا عندما تلتئم الطبقة التحتية او السفلية (substrate) وذلك تجنباً لالتباس كلمة «الاساس» بـ

bases و foundation بالانزيمية. وبهذه الطريقة تكون كفاءة التفاعل على اقصاها بدلا من الطريقة العاجزة حيث تتناقل جزيئتا المورد والمتقبل مستقلتين عن بعضهما في السائل.

بهذه الطريقة تتمكن الخلية الحية من انجاز مسلسلات من التفاعلات باقتدار مدهل. توجد في مناطق من الخلية جزيئة مفردة أو مجموعة صغيرة انما فائقة الانتظام من الجزيئات موجهة بحيث يمكن انجاز التحويل الكيميائي في سلسلة من التفاعلات مع كون احتمالية اتمام كل تفاعل منها جوهريا مائة بالمائة (١٠٠٪). أن السلوك الجماعي لجزيئات منظمة على هذا النحو، ما عدا في المادة الحية، لم يسبق له مثيل في العلوم حتى ظهور الفيزياء المجسمة مؤخرا.

لقد كشف ايضا فعل التمثيل الضوئي، والتأيض، وآليات الانزيمية، وتمثيل البروتينات، وتناسخ وترجمة الحوامض النووية، بأن هذه العمليات جميعا تتبع قوانين كيميائية وفيزيائية ثابتة مقررة. لا يوجد ثمة أثر لآلية قوة حيوية، ولا تمس الحاجة الى الاستعانة بهذه الفكرة لتفهم آليات الحياة. ولم تكن النظرية الحيوية قط مبدءا ابتكر كيفما اتفق بل كانت نوعا من الرأي الشامل لتغطية كل ما يتعذر فهمه خلاف ذلك.

كما ان تعقدية الحياة ايضا باهرة ومذهلة. لقد قام البيولوجيون باحصاء وتصنيف ما يناهز مليون نوع من الحيوان ونصف مليون نوع من النبات، ويقدر عدد الانواع الحية التي لم يجر تصنيفها بما يدوف على عشرة ملايين نوع. ثم ان عدد الانواع المنقرضة والمتمثلة في الاحافير ربما يربو على كل هذا. لقد تنوعت الحياة الى حد رهيب، وامتدت في الحقيقة الى كل بقعة يئثوية ملائمة من اطيان واوحال النزز البحرية المنتضبة الاوكسجين والتربات الغنية بالامونيا الى الرواسب الفلزية ذات المحتوى الاشعاعي

العالي . توجد متعضيات مجهرية تعيش في برك متزه يلوستون الوطني في درجات حرارة لا تقل عن ثمانين درجة (°٨٠) مئوية، وتوجد نباتات مجهرية في بركة دون خوان في القارة القطبية الجنوبية تتأبض في مياه كلوريد الكالسيوم في درجات حرارة منخفضة تبلغ ثلاثا وعشرين درجة (°٢٣-°) مئوية تحت الصفر، كما توجد بكثريا رطحالب وفطريات يمكنها أن تعيش في بيئات شديدة الحموضة أو القلوية ، ولشدة غيظ الفيزيائيين تواصل البكتيرة سيودوموناس راديو يورنس (Pseudomonas = radiodurans) الكاذبة الضخامة المقاومة للإشعاع) ازدهارها في مجرى النيوترون (neutron flux) عند بواطن المفاعلات الذرية لآحواض السباحة.

نحن نزع الى الاندهاش من هذا التنوع الرهيب للحياة على الارض، انما تحت هذا التنوع المضارب الخارجي توجد اشتراكية عظمية . فقد أماطت التقدمات المحرزة في البيوكيمياء اللثام عن ان جميع المنظومات البيولوجية تستخدم في الاساس نفس العمليات لاداء وظائفها كمتعضيات ذاتية الادامة . تشتمل حوامض النوويك والبروتينات على أهمية مركزية مطلقة لجميع العمليات الحياتية ، والوحدات الفرعية لهذه البيوبوليمرات هي نفسها لجميع المتعضيات، وحتى الكيمياء المجسمة ، أي يمينية أو يسارية الجزيئات البيولوجية ، هي نفسها في الكافة . كما يوجد ايضا صنف رئيس من المركبات تستخدمها جميع اشكال الحياة لنقل الطاقة الكيميائية ، وهذه العوامل هي فوسفات النووتيد (nucleotide phosphates) . أما البورفيرين، وهي المركبات الدائرية التي تشكل النواة النشيطة للهيموغلوبين، والكلورفيل، والسيتوكرومات ، فهي مقومات متواجدة في كل شيء . لكن ما هو أعجب من كل هذه بأجمعها هو التشابه في ترجمة معلومات حامض النوويك الى بنية البروتين . وقد تبين، منذ أن تم فك رموز المدونة الجينية في السنوات الستينية

من هذا القرن العشرين، ان لغة الوراثة هي نفسها لجميع الكائنات الحية . كل هذه المشتركات والعديد غيرها، ولاسيما حيث لا تتواجد أية فائدة انتقائية بارزة ، تشير بقوة الى أن جميع أشكال الحياة على الارض هي سلالة جد سلف واحد مشترك .

لقد أصبحت الحياة ، منذ نشأتها من سلف سابق مجهري بدائي، معقدة على نحو رهيب . لقد وجد ان وزن الدنا في الثدييات يبلغ (١٢-١٠×٦٥) غرام . فاذا كان زوج من النووتيد يزن (١٢-١٠×١٥٠٣) غرام فان مقدار الدنا في كل خلية ثديية يبلغ ما يعادل ثلاثة آلاف ومائتي (٣٢٠٠) مليون زوج من النووتيد . وباعتبار ان معدل طول البروتين يبلغ خمسمائة (٥٠٠) حامض اميني، وهو يعادل جينة ذات الف وخمسمائة (١٥٠٠) زوج من النووتيد، فان كل مخلوق ثديي يملك مليونين ومائة الف (٢١٠٠ ٠٠٠) جينة^(١) . وقد اقترح أرجيه برين (R.J. Britten) ودي اي كوهنه^(٢) (D.E. Kohne) ان اربعين بالمائة (٤٠٪) من الدنا يتألف من سياقات تتكرر ما بين عشرة آلاف الى مليون (١٠٠٠٠-١٠٠٠ ٠٠٠) مرة . وهذه امتدادات طويلة من الدنا التي لا تدون لسياق من الحوامض الامينية أو جزيئات الرنا وانما تعمل على فصل الشداف المعلوماتية في الجزيئة . وبعد طرح هذه التكرارات، يظل يبقى لدينا مجال لما يبلغ مليون ومائتين وخمسين الف (١٢٥٠ ٠٠٠) جينة مختلفة في صبغوسومات كل نوع من انواع الثدييات . فبأية طريقة امكن نشوء مثل هذه التعقيدية في عملية تحت التحكم والسيطرة خلال ثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة؟

تواتر تعقيد متواز بعد تطور المنظومات المتعددة الخلايا ، عندما تطورت المتعضيات الاحادية الخلية الى متعددة الخلايا ، تمكنت الخلية الواحدة من اطلاق اعداد فلكية من النسخ . ان الخلايا التي تشكل جسم الانسان مشتقة



للمادة الخلوية بنسخ متعددة من البروتينات المماثلة مدخلة أحوالا كان من شأنها أن تكون أكثر فائدة للحياة الاولى مما لاشكالها اللاحقة . مع ذلك، أن تضاعف الجينات مع التراكم اللاحق لنقطة التبدلات الطفرة كان على ما يظهر الوسيلة الأشد فعالية وتأثيرا في بلوغ الحجم والتنوع، وبقينا قد اشتملت بعض التناسخات العتيقة الجنومة ترمتها.

Table 15.1. Hypothetical doubling of a gene at 188-million-year intervals.

| N ^o | Time (millions of years) | Number of genes |
|----------------|-----------------------------|-----------------|
| 21 | 0 | 2,097,152 |
| 20 | 188 | 1,048,576 |
| 19 | 376 | 524,288 |
| 18 | 564 | 262,144 |
| 17 | 752 | 131,072 |
| 16 | 940 | 65,536 |
| 15 | 1,128 | 37,768 |
| 14 | 1,316 | 16,348 |
| 13 | 1,504 | 8,192 |
| 12 | 1,692 | 4,096 |
| 11 | 1,880 | 2,048 |
| 10 | 2,068 | 1,024 |
| 9 | 2,256 | 512 |
| 8 | 2,444 | 256 |
| 7 | 2,632 | 128 |
| 6 | 2,820 | 64 |
| 5 | 3,008 | 32 |
| 4 | 3,196 | 16 |
| 3 | 3,384 | 8 |
| 2 | 3,572 | 4 |
| 1 | 3,760 | 2 |
| | | 1 |

الجدول ١/١٥ - التضاعف الافتراضي لجينة على فترات ١٨٨ مليون سنة.

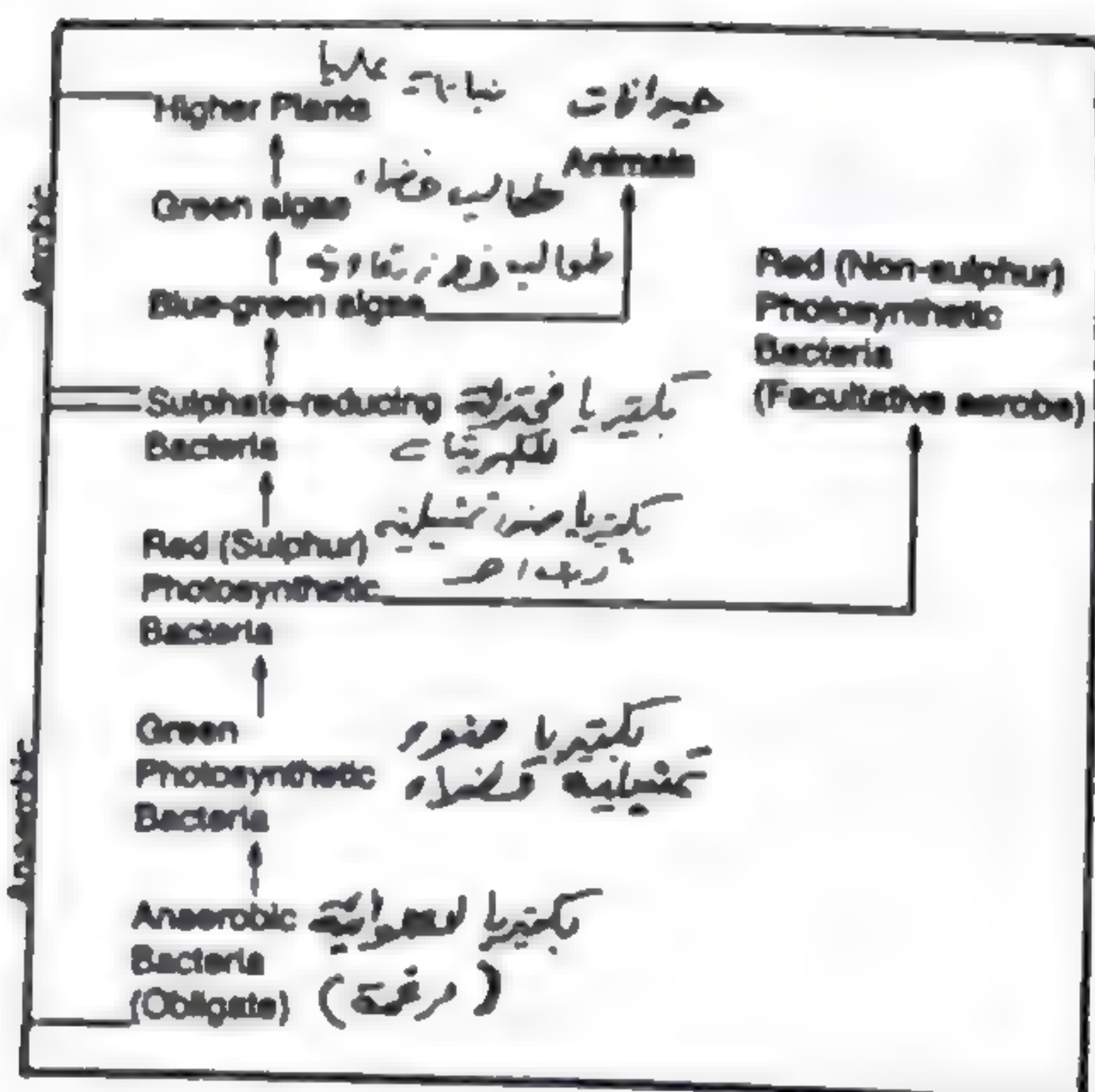
من بويضة مفردة انقسمت الى ٢ ثم ٤ ثم ٨ ثم ١٦ وهكذا دواليك بالتوالية الهندسية (geometric progression) لتكون الشخص الكامل . ومهما يبدو لا معقولا فان الخلية المفردة الواحدة تحتاج الى احدى واربعين (٤١) انقسامات لتصبح عشرة تريليون (..... ١٠ وهذا هو التريليون الامريكي ويساوي بلون بالحساب الانكليزي الالمانى حيث التريليون تألف من واحد تسعة ثمانية عشر صفرا).

والمتوالي الهندسية وسيلة فعالة للغاية لبلوغ الارقام الهائلة الضخمة ،
وقد اكتشف النشويون الجزييون ان الآلية الرئيسة في النشأة هي تضاعف
الجينات من خلال التحول الفجائي او التبدل الطفرة . ومع كل تضاعف يمكن
لاستبدال واحد من الحوامض الامينية في نسخة واحدة ان يضيف بروتينا
جديدا . وبهذه الطريقة نشأت اعداد من البروتينات مختلفة في الوظيفة
كالزلال البني من الحليب (lactalbumen) وانزيم الليسوزيم (lysozyme)
من نفس الجينة . كان تضاعف المادة الجينية ليكون حادثة نادرة . مع ذلك ،
ان تضاعف جينة مفردة الى مليون وستمائة الف (١٦٠٠ ٠٠٠) بالمتواليه
الهندسية كان لا يتطلب أكثر من (٢١) تضاعفا متواليا منذ بداية الحياة على
الارض ، أو على فترات معدل طولها مائة وثمانية وثمانون (١٨٨) مليون
سنة .

لم يكن مسار التعقيد مستقيماً سورياً تماماً كالمتواليات الهندسية لجينة مفردة. فقد تدخلت اعتبارات أخرى في التبدل الطفرة والنشأة، ويفترض أن الخلية الأولى تألفت من حشد من المواد البوليمرية الصغيرة وليس من جينة مفردة واحدة. كما أن تدرج السلم الزمني ليس مؤكداً لأن الجينات لم تتطور إلى الحجم الأكبر وإنما إلى الحجم الأمثل للالتزمات. أن تناسخ جينومة كبيرة (مجموعة الجينات المؤلفة) كان سيغني تناسخاً واسعاً متتابعاً

وعند مقارنة الدنا في كل فرد من تنوعة كبيرة من الثدييات تبين انه من نفس المقدار تقريبا. وبناء على ما تبديه سلاسل البيتا والديلتا (beta, delta) للهيموغلوبين ، فقد حصل التناسخ ضمن السلالات الثديية في بعض السدف الصغيرة من الصنفوسومات ، انما لم يحصل تناسخ لاجمالي الدنا برمته. ورغم ان الثدييات ربما تملك نفس القدر من الدنا كصنف. الا انها تملك زهاء اربعة اضعاف القدر الموجود في الحبليات الاولى (protochordates) وبعض الاسماك. يظهر انه حصل تناسخ الجنومة برمتها مرتين في اثناء النشأة من الحبليات الاولى الى الثدييات. حصل التناسخ الاول في زمن ما قبل حوالي اربعمائة وخمسة وستين (٤٦٥) مليون سنة مضت، عندما تطورت الفقريات الاولى من الحبليات البدائية. اما تناسخ الجنومة للمرة الثانية فقد حصل اثناء نشأة الزواحف الاولى او في ما قبل الزواحف حوالي ما قبل ثلاثمائة وعشرين (٣٢٠) مليون سنة خلت.

توضح قضية الفريدوكسين بجلاء الطريقة التي نشأت بها الانزيم من بنية اكثر بساطة. ان الفريدوكسينات بروتينات لاهيمية (nonheme) تتضمن الحديد وجدت في البكتيريا والطحالب الخضراء والخضراء اللاهوائية والضوء تمثيلية، وايضا في النباتات الاعلى. وهي تشارك بشابة حاملات الالكترون في تنوعة واسعة من العمليات البيوكيميائية بما فيها عمليات التمثيل الضوئي وتثبيت النيتروجين واختزال الكبريتات والتفاعلات الهيدروجينية ، وتفاعلات أخرى مؤكسدة اختزالية.



الشكل ١/١٥ - النشوء التطوري للفريدوكسينات

Figure 15.1. Evolutionary development of ferredoxins.

تبلغ سلاسل البولي هضميتيد في فريدوكسينات النبات باحتوائها على خمس وخمسين (٥٥) فضلة من الحوامض الامينية تقريبا ضعف طول تلك الموجودة في البكتيريا اللاهوائية ، بينما يأتي فريدوكسين الكروماتيوم ، وهي بكتيرة ضوء تمثيلية ، وتوسطا بين الطرفين. ثم ان صلة النسابة واضحة تماما نصفي الفريدوكسينات البكتيرية . يبدو ان جميع الفريدوكسينات مشتقة من التناسخ المتكرر للسياق البدائي لاربعة حوامض امينية ، بما فيها

من الحذوفات واستبدالات الحوامض الامينية . حصل تضاعف في طول الجينة في السلالة البكتيرية التي نشأت مباشرة قبل تشعب الكروماتيسوم، ثم تضاعف آخر مستقل عن التضاعف البكتيري الذي أفضى الى فريدوكسين النبات^(٢).

Table 15.2. Composition of *Dialister pneumosintes*.

| | (Grams $\times 10^{-14}$) | (Daltons $\times 10^8$) | Percent |
|--------------|----------------------------|--------------------------|---------|
| Dry Weight | 2.80 | 160 | |
| DNA | 0.13 | 7.8 | 4.66 |
| RNA | 0.30 | 18 | 10.33 |
| Protein | 1.20 | 72 | 43.00 |
| Carbohydrate | 0.47 | 28 | 16.45 |
| Lipid | 0.16 | 37 | 21.70 |

Note: A weight of 0.13×10^{-14} grams of DNA is equivalent to 6.5×10^8 daltons (one dalton is the molecular weight of one or 1 gram is approximately 6×10^{23} daltons).

الجدول ٢/١٥ - تركيبة الديالستر نيوموسنتيس

نشأت الحياة وتطورت من البسيط الى المعقد مستحثة الى ذلك بالتميز التنافسي للمتعضية الاكثر اقتدارا أو الطريقة البيوكيميائية الاكثر فعالية التي ظهرت من خلال التبدل الطفري . وهذا بالذات هو ما يغرينا ويدفعنا الى البحث عن المتعضيات الاكثر بساطة كنماذج للحياة الاولى . وفي هذا الاسلوب فائدة قيمة لأنه يوجد حيا اليوم ما يمثل العديد من مراحل النشوء طوال مسيرة الحياة قاطبة . غير انه يتوجب اتباع هذا الاسلوب بحذر لأن جميع الحياة المعاصرة لها سلالة أسلاف متساوية في الطول . ورغم ان المتعضيات المجهرية الاشكال الابسط للحياة فانها ليست الاشكال البدائية للحياة ، والبنى الانزيمية والعمليات التايضية التي تشاركها البكتيريا معنا ليست أقل قدرة وتعقدية من التي لدينا بالذات . ونحن نختلف لأن كلا منا قد تطور لاستغلال جانب مخالف من البيئة التعايشية .

ورغم ان المقومات البوليمرية ربما تكون متساوية في تطورها، فانريازة

Table 15.2. Composition of *Dialister pneumosintes*.

| | (Grams $\times 10^{-14}$) | (Daltons $\times 10^8$) | Percent |
|--------------|----------------------------|--------------------------|---------|
| Dry Weight | 2.80 | 160 | |
| DNA | 0.13 | 7.8 | 4.66 |
| RNA | 0.30 | 18 | 10.33 |
| Protein | 1.20 | 72 | 43.00 |
| Carbohydrate | 0.47 | 28 | 16.45 |
| Lipid | 0.16 | 37 | 21.70 |

Note: A weight of 0.13×10^{-14} grams of DNA is equivalent to 6.5×10^8 daltons (one dalton is the molecular weight of one, or 1 gram is approximately 6×10^{23} daltons).

(architecture) البروكاريوت أبسط بقدر كبير منها في الخلايا اليوكاريوتية، كما توجد سمات أخرى تقدم المبررات الكافية للاعتقاد بأن البروكاريوت جاءت قبل اليوكاريوت . ولوضع الأمور في المنظور ينبغي علينا أن نتفحص التركيبة للبروكاريوت . ان البكتيرة ديالستر نيوموستيس (dialister pneumosintes) ، على سبيل المثال ، تملك القياسات ٤-٦ ر. ميكرومتر عرضا و ٥-١٠ ميكرومتر طولاً . ولما كان الميكرومتر يساوي ١/١٠٠٠ من المليمتر ، فإن هذه البكتيرة تبلغ من الصغر ما يمكن معه وضع مائتين وخمسين (٢٥٠) ألفاً منها في النقطة الواقعة في آخر هذه الجملة . مع ذلك، فإن أمر مقايضة تركيبها الكيميائية واحتساب بنيتها القوامية من السهولة بمكان.

يمكن استنتاج الكثير من تركيبة المتعضية . بما انه يجب أن يتضمن الذرأ المزدوج الوهن تقريباً عشرين (٢٠) ضعف وزن البروتين الذي يقوم بتزويده بالمعلومات ، فإن (٦٥×١٠^٨) وحدة كتلة ذرية من الذرأ ستحمل المعلومات لامداد (٣٣×١٠^٧) وحدة كتلة من ذرية البروتين ، وباعتبار أن معدل الوزن الجزيئي للبروتين يبلغ (٤٠٠٠٠) (أربعين ألفاً) اذن لابد انه يوجد (٨٠٠) جزيئة من البروتينات المختلفة في الخلية الواحدة للبكتيرة ديالستر فاذا كانت جميع البروتينات هي انزيمات، اذن لجزيئة مفردة بالتفاعل الواحد، تستخدم الخلية ثمانمائة (٨٠٠) تفاعل لكي تكون منظومة وظيفية ذاتية الكيان . وعليه، فلربما ان البكتيرة تستخدم عدة مئات من التفاعلات . وهذا يبدو رقياً معقولاً، لأن البكتيرة الاكبر ايشريشياكولي (E. Coli) ، وهي المتعضية المجهرية المدروسة على اوسع نطاق، قد كشفت لحد الآن عن خمسمائة (٥٠٠) تفاعل بيوكيميائي تم التعرف عليها^(٤).

وبالرغم من صغرها الضارب ، فانها ليست الخلايا الذاتية الكيان

الاصغر . ان اصغر الخلايا الطليقة العيش المعروفة هي المتعضيات الشبيهة بالبلورونيومونيا (PPLO=pleuropneumonia) المسماة بالميكوبلازما (mycoplasma) . هذه المتعضيات تسبب امراضاً خطيرة في الاغنام والماعز والدجاج والدجاج الهندي وتتواجد كنباتات رمية او رمادات غير مؤذية (saprophytes) في الاغشية المخاطية للحيوانات والانسان ، وايضا في كساحة البلاليع والمجاري وفي التربة . وبينما تملك الاميبا (amoeba) كتلة من (١٠×٧-١٠×٥) غرام، يبلغ وزن PPLO (١٠×٥-١٦) غرام ويقع طولها في حوالي (٠.١) ميكرومتر ، ويمكن رؤيتها فقط بمجهر الكتروني.

وبسبب حجمها تتسع ال PPLO لما يقرب من مائة (١٠٠) انزيم فقط . وهذه المتعضيات تنمو ببطء شديد . على ما يظهر تعيش هذه المتعضيات في بيئة حيث يردها بلا عناء العديد من المقومات اللازمة التي يتحتم على المتعضيات الاكبر تمثيلها . رغم ذلك فان ال PPLO متعضيات تامة الوظيفية والتكاثرية التي لا تستطيع العيش على اكثر من، وربما اقل بكثير، مائة (١٠٠) تفاعل بيوكيميائي . ولو تواجدت بيئة تتضمن جميع لبنات البناء اللازمة ومصادر طاقة من قبيل الأتب، فانه يمكن أن تكون المتعضية الوظيفية اصغر الى حد بعيد وابسط حتى من ال PPLD . وفي الحقيقة ان باطن الخلية يمثل مثل هذه البيئة وهذا هو كون الفيروسات اصغر .

غير ان الفيروسات ليست متعضيات ذاتية الادامة ولا يمكن اعتبارها نوعاً من الحياة ، وينبغي عدم النظر اليها كبداية وانما بالاحرى كشكل بالغ التعقيد من الطفيلية ، ذلك لأنها هي ايضا من نتاج نشأة عمرها ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة . ولا تبدو الفيروسات بأنها الناتج النهائي لنشوء من بنية ابسط، بل هي أما مشتق منحرف لخلية او ناتج مسيخ لأحداشكال الحياة الاعلى . (ملاحظة : في حوالي (١٠-١٨) وحدة كتلة ذرية تبلغ الفيروسات



حوالي جزء من عشرة ملايين جزء من حجم الاميبا (بذكر الاصل

١٠٠

١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠

أو مائة جزء من الف مليون). وعليه فإن الاميبا بعيدة بالحجم عن الفيروسات
كبعدها بالحجم عن الاميبا).

ان الفيروسات هي أبسط المتعضيات، انما يوجد صنف آخر يقع بين
البكتيريا والفيروسات. وهذه هي الريكتسيا (rickettsiae) ، وهي، كالفيروس،
طفيليات تكاثر فقط في الخلية المضيفة، انما هي أقرب الى البكتيريا من حيث
الحجم والتعقيد والقدرة التآضية. تسبب الريكتسيا امراضا عديدة منها
التيفوس البوابية والحمى المرقطة (Rocky Mountain spotted fever)
ومن سماتها الملفتة للاهتمام شبهها بالميتوكوندريا. كلاهما يتضمن مكونات
لدورة كريس (Krebs) من التفاعلات، وكلاهما يستخدم (NADP) ، ألا ان
كليهما يعجز عن مواصلة اكسدة الاعيادية بعد تجميده في وسط ملح،
انما يمكن وقايتة من فقدان المناشطة باضافة الغلوكوز.

تفيد احدي النظريات ان الفيروسات نشأت كجينات مسيخة انحرفت
عن الخلية، وهذا التصور نابع من شدة نوعوية (specificity) الفيروس.
انما النظرية الاكثر اغراء هي انه اولا الريكتسيا ثم الفيروس نشأت من
البكتيريا، وفيما طور كل منهما منوالا طفيليا من الوجود كلاهما فقد القدرة
الزيادة في تمثيل بعض الانزيمات اللازمة للمتعضيات الطليقة العيش.



الشكل ٢/١٥ - صورة ضوئية بالمجهر الالكتروني لجسيمة فيروس القوباء
(فيرون). يحيط غلاف الفيروس بالنوكابسيدة (nucleocapsid)
التي بشكل العشريني الاسطح. والكبسوميرات (capsomeres)
وهي مورفولوجية، هي الوحدات الفرعية للنوكابسيدة (capsid =
علمية) ظاهرة. والشحط يمثل مائة (١٠٠) نانومترا. والصورة مكبرة
مائتي (٢٠٠) الف مرة.

ييدي الانسان اندماجه وبالنسبة اعجابه بكفاءة النباتات والحيوانات
 ويفصح عن الفكرة ان مثل هذه الخلائق هي بالحتم أحداث فريدة يتعذر
 نشوؤها بالمرّة عن التفاعلات الطبيعية لوحدها . لكن الطبيعة ليست مبنية
 على اللاحتمال . فقد نشأت اشكال مختلفة من الحياة ، بيناتها وأجزائها
 الوظيفية بمثابة الاشكال الافضل من بين عدد كبير من الامكانيات ، أي ان
 العملية الانتقائية جعلت نشوءها محتملا في ظل الظروف القائمة . فقد ظهر
 الشكل الانسيابي للحركة البحرية العالية السرعة مع حيوان الستوبتريجيوس
 (stenopterygius) وغيره من زولحف الدهر الوسيط او الميسوزويي ، ومع التونا
 وهي سمكة ، والدولفين وهو ثديي . ونشوء هذا الشكل ثلاث مرات مستقلة
 عن بعضها وفي اشكال من الحياة لا صلة بينها لا يدل على صدفة فادرة ، بل
 بالاحرى على ان الدينامية المائية (hydrodynamics) تضم مجالا ضيقا من
 الحلول للمسألة . فالعين ، التي تعتبر من الاعضاء العجيبة ، نشأت مستقلة
 مرات عديدة مدلة على ان هذه البنية هي الحل الافضل للتسجيل البصري .

ان الاحتمالات التي تشير الى أن فرصة التجمع بالصدفة للتواليست
 القاعدية لأحد حوامض النوريك لها (١٠^{٨٧}) طريقة مختلفة^(٥) ، أو ان الاحتمالية
 لتكون بروتين ذي وزن جزيئي قدره ستون ألفا (٦٠٠٠٠) بفعل التكتل تبلغ
 واحدا (١) في (١٠^{٢٠}) عديدة المعنى . ذلك لأن تكون الحياة لم يأت صدفة
 ولم يكن غير محتمل . ومثل هذه الاحتمالات مصممة للتدليل على استحالة
 حصول الحياة في ظل الظروف الطبيعية ، وهي مبنية على الفرضية الخاطئة
 ان الحياة نمت وازدهرت بتمامها وبكل تعقدها وتطورها كما في المتعضيات
 المعاصرة . لقد بدأت الحياة ببساطة وببطء وتطورت كنتيجة للبقاء التلقائي
 الجهازي بالالتئام بين المواد التي ملكت خاصية الاشتغال وبذلك كل ما لم
 يملك هذه الخاصية .

ان المنظومات المعقدة ، من الامبراطوريات الى البنى البيولوجية ، لا تظهر
 الى الوجود فجأة تامة بكل مراحل نموها وتطورها . انما بالعكس . يتحتم
 عليها بعد ظهورها ان تنمو بمراحل ، مع ترسخ كل مستوى ترسخا تاما
 مستقرا قبل التوجه الى المستوى أو العتبة الاعلى التالية . أي ان الحياة
 تطورت بدرجات او طبقات من البنى الكيميائية ، وكل درجة كانت بالتوالي
 اكبر وأكثر تعقيدا من سابقتها . وتضمنت وحدات كل درجة في بنيتها
 الكيميائية الوسائل اللازمة لخلق المرحلة التالية من تطورهما .

تكثفت النوياتيات بالتدرج الى بولي نووتيدات ، والحوامض الامينية
 الى بولي هضميتيدات ، وتجمعت الجزيئات الضخمة لتكون خلية وظيفية .
 وبدورها امتزجت طبقة او درجة الخلية في نباتات وحيوانات متعددة الخلايا .
 وفي كل من مستويات او عتبات هذا الهرم اضطرت الوحدات الى الدخول
 في التئام ذاتي لتكوين المرحلة التالية الاعلى . انما هنا تكمن سمة بالغة
 الخطورة للتكوين . فاذا تناولنا خلية حية معاصرة وقمنا بتجريدتها وتفكيكها
 ثم أعدنا تأليف جميع المقومات البيولوجية لها ، سنجد انها لا تلتئم ثانية في
 خلية وظيفية . ولا يمكننا تفكيك نبات أو حيوان متقدم متعدد الخلايا الى
 خلاياه التكوينية ثم إعادة تشييد المتعضية الى وضعها الاول الاصلي . اذ يبدو
 ان الخاصية المسؤولة عن الالتئام الذاتي قد فقدت في هذه المرحلة من
 التطور .

وللوهلة الاولى يبدو لنا ان هذا ينقض المبدأ الاساسي تماما عند
 انطباقه على المستوى الذي تكونت الحياة فيه . لكننا قد رأينا ان المتعضيات
 المتعددة الخلايا تملك في المراحل البدائية من النشوء قوى الالتئام الذاتي ،
 كما في الاسفنج واللاحشويات والاجنة في نموها الابتدائي . لقد كان في
 مرحلة لاحقة ، بعد أن قطعت المتعضيات المتعددة الخلايا شوطا في التطور ،

ان اندمجت خاصية تنظيم وضبط هذه الخلايا المختلفة في بنية المطبوعة الجينية الشاملة فتطورت الخلايا معها في مرحلة شديدة النوعية لا شأن لها بالالتام الذاتي.

ان ما يحصل هو انه كلما تقدمت الوحدة في التعقيد كلما ازدادت نوعية علاقاتها الجزئية الباطنية والبيئية ، أي ببعضها البعض في باطن الجزيرة وبين جزيرة وأخرى، وعليه ما ان تتخذ صفاتها الجديدة هذه بالارتقاء حتى تتخفف معها بالتناسب قدرتها على الالتام على الوجه الصحيح ثانية ، وهنا لدينا انتزاع طبيعة الانزيمات كمثال باهر على هذا . تملك البولي هضيتيدات الصغيرة ، كالكيميائيات البوليمرية ، ترتيبية حيزية متسقة ومستقرة نسبيا . أما البروتينات ، من جهة أخرى، فانها تشغل الحيز كتضاريس بنيوية معقدة وفي الغالب هشة ضعيفة تفرضها سياقات الحوامض الامينية والعديد من التفاعلات الباطنية.

تتخذ سلسلة البولي هضيتيد شكلها، في عملية التمثيل الحيوي للبروتين، اثناء نموها من الريبوسومة ، بالالتفاف والالتواء والانطواء على نفسها وتمسكها التفاعلات الباطنية اثناء تكون هذه مع البروتينة المنبقة . وفي ظل البيئة الكيميائية للخلية يبقى التضريس الثلاثي قائماً . غير انه اذا جرى عزل البروتينة وتعريضها حتى الى تغييرات طفيفة في تركيز Ca^{++} او تركيز الملح، وايضا درجات الحرارة المرتفعة، فان القوى الضعيفة المسكة بالبروتينة في تضريسها ستعرض للتصدع . تقوم سلاسل البولي هضيتيدات باصلاح الترابط في الجزئيات وما بينها ولكنها تفقد توحيدها لان السلسلة التامة الآن تملك طرقا عديدة متاحة للتفاعل البيئي . فاحتمالية اتخاذ البروتينة تضريسها الاصلية الآن ضئيلة كل الضالة ، فيقال ان طبيعتها قد انتزعت ، وعندما تكون البروتينة انزيمية انشطتها متوقفة على نوعية

تضريسها يؤدي انتزاع الطبيعة الى ضياع النشاط الانزيمي^(١).

تكون احتمالية الالتام الذاتي على أعظمها عندما تكون مكونات وريادة المنظومة البيولوجية صغيرة وبسيطة . فعلى سبيل المثال تملك الريبوسومات القدرة على الالتام الذاتي، وقد تم تقليد واعادة تجميع الفيروسات اسفر عن الحصول على عدة نسب مثوية من المتعضيات المعاد تشييدها^(٢). تنزع الطبيعة الكيميائية في العديد من المركبات البيولوجية الى التجمع في توليفات فوق جزئية نوعية لحد ما ، والازدواج القاعدي للنوتيدات التسمية مثال على مثل هذا التجمع . مع ذلك، توجد تفاعلات اضافية أخرى، بما فيها الازدواج القاعدية ، ممكنة ولكن المنظومات البيولوجية لا تستخدمها . وربما كانت بعض من هذه جزءا من الخلايا الاولى ولكنها نبذت لكونها أقل فائدة من غيرها التزمت بها المتعضيات . غير انه لا ريب ان الالتام الذاتي الابرز يتمثل في التحفز التلقائي لدى الدهنيات نحو تكوين البنية.

ان الشرط الادنى لتكوين الخلية البدائية هو الصلاحية الكيميائية في المكونات المتعاشرة مع التنظيم الملائم لاداء وظيفة التناسخ في الخلية . وكانت الاحتمالية على اقواها لهذا الغرض في الخلايا ذوات المكونات الاقل عددا والاصغر حجما مع احتفاظها بوظيفتها . كانت الاستحالات البيوكيميائية لتكون بطيئة ومنخفضة الفاعلية ولكنها لم يوجد أمامها ما ينافسها ولم يكن لها عدو غير الانحلال . والعتبة التي تحتم على المنظومات الحية الابتدائية عبورها كانت قدرتها على النمو والتكاثر بوتيرة اسرع من الانحلال او الحلمة ، وما ان عبرتها حتى عجلت الخلية تطورها بالتبدل الطفري الى قدرة متزايدة ابداء، وورث سلالة هذا الشكل الناجح الأول من الحياة الارض . وكشهادة على البداية البسيطة للحياة هي أن تعقيدية المتعضيات المتقدمة

قائمة على عدد من المواد مدهش في قلته . ومن بين آلاف الملايين من المركبات العضوية المحتملة تستخدم الحياة المعاصرة على الأرض أقل من الف وخمسمائة (١٥٠٠) منها، وهذه الألف وخمسمائة مشيدة من أقل من خمسين (٥٠) لبنة لبناء جزيئية بسيطة.

الفصل السادس عشر - جوهريات الحياة

هل تملك الحياة كيميائية فذة لاءمتها ظروف فريدة تواجدت في الأرض البدائية قبل أكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة خلت، أم كانت الحياة نتيجة لا بد منها في الاحوال الجيولوجية العادية ؟ لتسنى الاجابة على هذا السؤال يقتضي بنا أن نحدد وتسبع المكونات التي كانت ستلزم لتكون خلية حية وظيفية . بالتثبت من المتطلبات اللازمة للصرف للمنظومة البيولوجية نستطيع أن نفهم الاحوال النوعية التي كانت ضرورية لنشأة الحياة على الأرض.

عند تفحص التركيبة الكيميائية للكائنات الحية لا نجد غير العناصر العادية ، اذ من بين اثنين وتسعين (٩٢) عنصرا طبيعيا يوجد فقط اربعون (٤٠) منها في النباتات والحيوانات ، ومن هذه فقط ثماني عشرة (١٨) لازمة اعتياديا . ومن بين الستة والثلاثين (٣٦) عنصرا الموجودة في الجبيلة الاولى أو البروتوبلازما تشكل اربعة (٤) منها فقط ثمانية وتسعين بالمائة (٩٨٪) من مجموع التركيبة الكلي . توجد مقادير صغيرة من الفوسفور ، والكبريت، والصوديوم، والكلورين ، والكلسيوم، والمغنيسيوم، والبوتاسيوم، مع آثار للمعادن من حديد، وبورون ، وموليبدنوم، ونحاس أحمر، وكوبالت، وزنك، ومنغنيز، تمثل بمجموعها أقل من واحد بالمائة (١٪) . ولا توجد أية عناصر نادرة او غير عادية بينها.

ان الكربون والهيدروجين والنيتروجين والاكسجين التي تسود في المنظومات البيولوجية هي، باستثناء الهليوم، العناصر الاربعة الأكثر غزارة في الكون . والكربون والهيدروجين والنيتروجين والاكسجين ليست فقط هي من بين العناصر الأكثر تواجدا في الكون، بل انها ايضا تحتوي على خواص كيميائية متميزة عن غيرها لدرجة انها فريدة في ادوارها كعناصر جوهريّة . ان



أوزانها الذرية منخفضة وتشكل عددا من المركبات العادية المستقرة والمتطايرة. ولهذا السبب أصبحت هذه العناصر الأربعة مركزة في الغلاف الغازي والمائي الذي يغطي سطح الأرض.

Table 16.1. Volcanic gases.

| | | |
|---|------------------|------------|
| Steam | H ₂ O | |
| Carbon dioxide | CO ₂ | |
| Nitrogen | N ₂ | |
| Sulfur dioxide | SO ₂ | |
| Hydrogen | H ₂ | |
| Carbon monoxide | CO | |
| Chloride | Cl ₂ | |
| sulfur | | |
| Hydrogen sulfide | H ₂ S | ↓ Amounts |
| Hydrochloric acid and other acids | HCl | Decreasing |
| Volatile chlorides of iron, potassium, and other metals | | |

الجدول ١/١٦ - الغازات البركانية

نشأت الحياة من جملة المتطائرات المنتشرة من باطن الأرض ، تكثفت وتراكمت لتشكيل الجو والبحار ، وبدون التطور الجيولوجي للأرض لم تكن الحياة لتكون على سطحها ابداء . وليس فقط دوران الأرض حول الشمس في نطاق ضيق مع هوامش من بضع نسب مئوية لاتاحة قيام الاحوال التي أدت الى ظهور الحياة ، انما لو كانت الأرض أصغر حجما بقدر ، مثل القمر ، فان أي جو يظهر لها كان سيفلت من الجاذبية الضعيفة . لكن الأكثر من كل ذلك ، في النسبة الأكبر للسطح الى الحجم كانت الحرارة من النويدات (nuclides) المحبسة ستبدد الى الفضاء الخارجي ولا تتراكم لتكوين البراكين ، ولم تكن منطقة الصحارة (magma) لتتكون ، ولم يكن باطن الأرض ليتباين في طبقات مختلفة متداخلة ، وكان سيتعذر انتفاث المتطائرات الزائدة



الى السطح لتكوين الجو والبحار . وبدون كل هذه لم تكن الأرض لتولد الحياة ابداء . (ملاحظة: nuclide) ، ربما تصلح «نويدة» تعريفا لها ، هي صنف نوعي من الذرة لها متوسط عمر قابل للقياس) .

للكاربون خاصية لا يستغنى عنها وهي قدرته على تكوين روابط كيميائية ليس فقط مع عدد كبير من العناصر الأخرى ، انما ايضا مع ذرات كاربونية أخرى . توجد بعض العناصر الأخرى تشارك في خاصية تكوين الترابط التسلسلي أو التعاقبي (concatenation) هذه ، انما لمجال محدود فقط . فمن خواص الكاربون هي قدرته على الترابط في سياقات طويلة بروابط مفردة وثنائية وثلاثية وتشكيل مركبات حلقة او الدخول في عدد هائل من التوليفات أو الالتصاقات مع عناصر أخرى . يقدر عدد مركبات الكاربون المعروفة الآن بأكثر من مليون ونصف المليون (١٥٠٠ ٠٠٠) . وهذه التنوع الهائلة للرياسة الكاربونية هي التي وفرت التعقيد اللازم لاتاحة تفاعل الخواص الكيميائية والفيزيائية الذي يصنع الكيان البيوكيميائي الذاتي الادامة .

ان إحدى خواص المنظومات الحية التي تميزها عن الجماد هي قدرتها على التكاثر ، ومع كون الطبيعة الفطرية الجوهرية للخلية نزعتها الى تشييد المكونات الكيميائية والفيزيائية في بنى ، فاننا هنا في المقام الاول ازاء الجزئيات التي تتكاثر تلقائيا . لقد تم الوقوف على طريقة تناسخ حوامض النويك وكيفية تمثل سياق النوتيدات الأربع في رسالة مرموزة يمكن ترجمتها الى سلسلة من الحوامض الامينية في عملية تمثيل البروتينات . يكمن أساس الحياة في الخاصية الفذة للحوامض الامينية المتمثلة في نزعتها الى التناسخ .

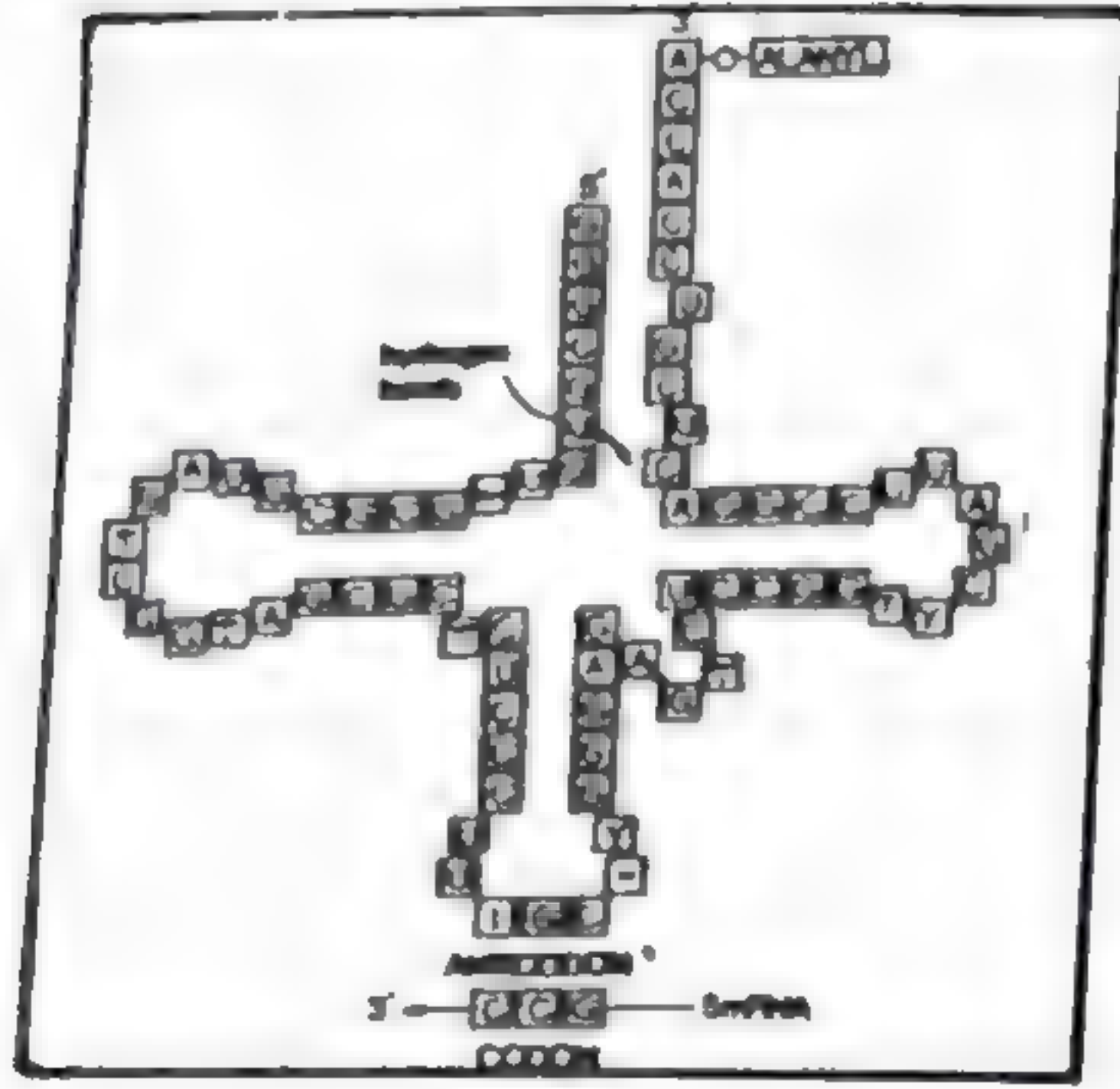
يتمثل الدور الاساس لحوامض النويك في العمل بمثابة مطبوعة (blueprint) مستقرة نسبيا لتشييد المتعضيات ، ولكي تتمكن من اداء هذه



الوظيفة يتوجب أن تبلغ من الكبر ما تمكن معه من حمل المدونة لبناء هضمية. ولما كان كل حامض اميني يستلزم ثلاث نووتيدات ، فإن حجم البروتينات الاولى المفترض هو الذي سيحدد المتطلبات من الحوامض النووية. فإذا كان الفريدوكسين قد بدأ بهضمية طولها اربعة حوامض امينية ، كما هو المعتقد الآن، فإن حامض النووية اللازم كان، بناء على ذلك، ليكون في الاقل اثني عشرة (١٢) وحدة فرعية في الطول.

والدور الثاني لحوامض النووية هو العمل بمثابة الرنا الناقلة . فأن ستتم الحاجة الى مسلسل من جزيئات الرنا الناقلة لنسخ حامض النووية المدون أو الرموز وترجمة تركيبته الى سياق من الحوامض الامينية . في المتعضيات المعاصرة يوجد رنا ناقلة لكل من الحوامض الامينية العشرين .

تمكن روبرت هوللي (Robert Holley) والعاملون^(١) معه من التثبت ان سياق النووتيد للرنا الناقلة للالانين يتألف من بولي نووتيدة لها خمس وسبعون (٧٥) وحدة فرعية يمكنها الانطواء الى الخلف على نفسها وتعلق في ترتيبية بشكل ورقة البرسيم بالاربطة الهيدروجينية بين القاعدتين المتتامتين المتقابلتين . وقد تم منذ ذلك الحين التثبت من سياق زهاء خمس وسبعين (٧٥) جزيئة مختلفة للرنا الناقلة . يتراوح عدد الوحدات الفرعية ما بين (٧٤) و(٩١) وجميعها تشكل نفس تفرسة ورقة البرسيم في العموم^(٢) .



الشكل ١/١٦ - تفرسة ورقة البرسيم للرنا الناقلة (الرنا الناقلة للالانين)

يبدو ان الحجم الاقصى اللازم للنووتيدات المبلعمة لتعمل كرنأ ناقلة ليس ترتيبية ورقة البرسيم التامة وانما في الاقل السلسلة مطوية خلفيا على نفسها لتشكل عروة أو انشودة دبوس الشعر (hairpin loop) لتوفر المجال للكودونة المضادة عند المنعطف . وبما أن نوعية الحوامض الامينية للرنا الناقلة كانت لتتأ في زمن مبكر فلربما ان جذوع الرنا الناقلة الابتدائية المتطلبة للعروة الجانبية لورقة البرسيم كانت بنفس طولها اليوم تقريبا ، مما يضع الحد الادنى لحجم سلسلة النووتيد في حوالي اربعين (٤٠) وحدة .

لا بد أن تناسخ حوامض النووية كان قد بدأ قبل عملية التمثيل الحيوي للبروتين اثناء نشأة الحياة ، وبالنظر الى النوعية العالية والتشابه الشديد في بنية الرنا الناقلة، فلربما أنها كلها منحدره من جزيئة سلف مفردة واحدة .



انه لمن السهل الرؤية أن الجزيئات الضخمة كانت قد سبقت الخلية الحية الاولى في الظهور . انما عند تأمل الآلية التي تتكون بها حوامض النويك والانزيمات في المتعضيات المعاصرة ، يواجه المرء معضلة . فحوامض النويك تحمل المعلومات والآلية لتصنيع نفسها والانزيمات انما الانزيمات هي المحفزات للتفاعلات لاعداد كليهما . كيف اذن امكن أن تكون أي منها بدون تواجد كليهما ؟

هذا السؤال كان محيراً وقسم العلماء الى فريقين، فريق يعتقد ان حوامض النويك^(٢) جاءت اولاً وفريق يحتاج ان الانزيمات او جزيئات ضخمة شبه الانزيمات هي الاكثر احتمالاً لتكون المكونات الاصلية^(١). ليتسنى تشييد أصل عقلائي لمنظومة بيولوجية يلزم أما ايراد البراهين على ان الانزيمات (او بدائل مناسبة) كانت قد امكن انتاجها لحيويًا ، او أن يملك المرء القدرة على شرح كيف تمكنت منظومة بيولوجية من بدء الحياة بدونها.

ان الاساس الجوهري للكائنات الحية هو النمو وادامة الذات ببناء الجزيئات . تقوم هذه بتمثيل وترصيص الجزيئات الضخمة من وحدات أصغر، وهذه عملية تستلزم لقيما من الطاقة. تبلغ الطاقة السائبة المحررة في حلماة زردة هضميتيد من جزيئة بروتينية ما بين اثنين الى اربعة (٢-٤) كيلوسعرة (kilocalorie) بالمولة ، ومعنى هذا هو ان ربط كل حامض اميني بسلسلة الهضميتيد في عملية تمثيل البروتين تستلزم (٢-٤) كيلوسعرة . وعملية بلمرة النوتيدات تحتاج الى كمية مماثلة.

وأحد السبل لسد هذا الطلب من الطاقة لتكوين اربطة كيميائية هو رفع درجة الحرارة فوق نقطة غليان الماء والى ارتفاع يجعل الطاقة الحرارية في التفاعلات أو العوامل المتفاعلة تتجاوز الطاقة المطلوبة لتكوين الترابط الاسهامي للهضميتيد . لكن فيما تزداد الجزيئات تعقدا لمنظومة بيولوجية



تلمب التفاعلات الاضعف أو الاقل شدة دوراً رئيساً في ادامة الرابطة المتصاعدة، وتصبح البنية اكثر حساسية للفعل التزريقي للطاقة الحرارية في تجاوزها للطاقة الكيميائية في هذه الاربطة.

لهذه الاسباب استتبعت المتعضيات طريقة بالغة الانتقائية والضبط لتوريد الطاقة اللازمة لتسيير عملياتها. ليتسنى تحويل تفاعلات التمثيل التصاعدية الى تفاعلات تلقائية نزولية تقوم المتعضيات بتنشيط احد التفاعلات بمشتق عالي الطاقة ، وهذا يتطلب متفاعلاً ثالثاً يتضمن خزين طاقة أعلى ليتمكن من ترحيل بعض من طاقته وانزالها الى المتفاعل للتنشيط.

ان استخدام الطاقة الحيوية (bioenergetics) لدى الخلية الحية يشبه في الجوهر استخدام مصنع للطاقة الكهربائية . يجري تحويل الطاقة الحرارية من الفحم المحترق الى طاقة كهربائية في مولدة وتنقل الى البيوت حيث يجري تحويلها الى حرارة وحركة . في هذه العملية ، تستهلك كمية من الطاقة لتوليد الكهرباء أكثر مما يمكن ابداء استرجاعه. وبنفس الطريقة تقوم خلية النبات بالتفاف طاقة ضوء الشمس وتحويلها في مركبات خاصة الى الأجزاء الأخرى في الخلية ، وتستعيد الطاقة لبناء الاربطة الكيميائية.

ومشتقات حامض الفسفوريك صالحة بوجه الخصوص لهذا الدور ، لتضم في بنيتها الطاقة المستجمعة من ضوء الشمس ، والطاقة المخزونة في الرابط البيروفوسفاتي هي التي تقوم بتموين عمليات التمثيل البيولوجية . وبالتالي، فان هذه المركبات العالية الطاقة مكونات ضرورية لجميع المنظومات البيولوجية . لكن رغم ان مشتقات البيروفوسفات يمكن أن تكون قد لعبت دوراً ابتدائياً ، ألا أن ميزة الاستقرارية للأت ب توحى الى انه ربما كان مقوم الحياة الاصيلي.

ان الحاجة الى مشتقات البيروفوسفات تجعل الفوسفور عنصراً جوهرياً.



لكن من بين العناصر الأكثر انتشارا الستة المطلوبة في المنظومة البيولوجية، وهي الكربون، والهيدروجين، والنيتروجين، والاكسجين، والكبريت، والفوسفور، ينفرد الفوسفور لوحده بعدم تضمنه مشتقا متطائرا مستقرا، وليس له بديل. والزرنيخ أوثق اتسابا الى الفوسفور من أي عنصر آخر لكن انهيدريدات حامض الزرنيخيك ليست مستقرة في الماء، والاستقرارية المائية للآتب العالي الطاقة هي تجعل من الممكن استعماله في تمثيل حوامض النويك، والبروتينات، ومكونات خلوية أخرى.

انما هنا يبرز تناقض مثير للاهتمام. ان وجود الفوسفات في مياه البحر ضئيل فقط بكميات جزئية مجهرية، مما يجعله واحدا من اندر العناصر في البحار. قام اسيموف (Asimov) بمقارنة تركيبة ماء البحر بالعناصر المطلوبة ليثبت من العامل الذي يعوق نمو الحياة. تناول الحويثة القشرية الدقيقة كويبود (copepod = مجذافية الارجل) كنموذج يمثل الحياة الحيوانية في البحار، وقام بمقارنة النسبة المئوية للعناصر الجوهريّة الموجودة في تركيبة الكويبود بمحتويات ماء البحر منها. وكل نسبة أعلى في الحويثة اعتبرت تركيزا لذلك العنصر في الحويثة، وجد ان اربعة عناصر، الكربون والنيتروجين والفوسفور والحديد تواجدت بنسب تركيز كبيرة. والكربون والنيتروجين متوفران من الجو من خلال سلسلة الغذاء، انما بالنسبة الى العنصرين الآخرين كان عامل التركيز للفوسفور اربعة أضعاف نظيره في الحديد. وخلص اسيموف الى أن العامل المحدد من نمو الحياة في البحار هو كمية الفوسفور، وهذا الامر واضح في المياه الداخلية، أي الانهر وما اشبه، حيث يؤدي تلوثها بالفوسفور من سواحل التنظيف والاسمدة الكيماوية الى نمو سريع للطحالب.

لكن مهما كانت خطورة الفوسفور للحياة، فهو ليس عنصرا نادرا.

هناك بعض الصخور، وعلى الاخص بيرماغيت والغرانيت (granite permagtitet) كثيرا ما تحتوي على قرارات كبرى من فلزات الابايت (apatite) وهي فوسفات ثلاثي الكالسيوم $(Ca_3(PO_4)_2)$ ، والفلورايبايت. و (fluorapatite) $(3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2)$ ، الصعوبة هي ان املاح كالسيوم حامض الفوسفوريك مقاومة للذوبان للغاية، وتزيل الفوسفور بفعالية من اية مياه يتجاوز فيها تركيز الكالسيوم على تركيز الفوسفور. ومن الممكن تماما أن تكون الحياة قد نشأت باتصال وثيق بالصخور المحتوية على الفوسفور في القرارات الرسوبية للفوسفات الثانوية (secondary phosphates) المتصلة من هذه الصخور.

قام جون ماكليندن^(١) (John McClendon) من جامعة نبراسكا بأجراء مقارنة لغزارات والمتطلبات من العناصر الموجودة في المنظومات البيولوجية، ووجد أن تسمية عناصر، نظرا لمطلوبيتها الفريدة، كانت لتكون جوهريّة لنشأة الحياة. وهذه هي الكربون، والهيدروجين، والنيتروجين، والاكسجين، والفوسفور، والكبريت، والمغنيسيوم، والبوتاسيوم، والحديد. لا بد أن الكربون والهيدروجين والنيتروجين والاكسجين كانت غزيرة في المكونات الغازية للجو، بينما كان الفوسفور مركزا في قرارات الصخور، مع تواجد العناصر الباقية المطلوبة في مياه البحر في الاحوال الاختزالية للأرض البدائية.

توجد المعادن الثقيلة، من الحديد والمنغنيز، والزنك، والنحاس، والكوبالت، والموليبدينوم، بشكل رئيس في قشرة الأرض، أما البحار فهي تقريبا خالية منها. مع ذلك، هذه العناصر جوهريّة للغاية لأغلب النباتات والحيوانات. وجد ماكليندن ان تركيز المعادن الثقيلة الجوهريّة في النباتات لم يتناظر مع التركيزات البحرية وانما تناظر مع وجودها في القشرة. ويبدو

ان هذا يتناسب مع النباتات لأنها استوطنت المناطق اليابسة من الارض قبل الحيوانات وكيف تركيبها البيولوجية لتلائم والمقومات القشرية المتوفرة ، وتأثر دمج المعادن المناسبة لانزيمات معينة بغزارة المعدن.

لكن هل كان للمعادن الثقيلة دور في بيوكيمياء الاشكال الاولى من الحياة على الارض ؟ والاجابة على هذا السؤال تتوقف على تلاحقية الاحداث في نشأة الحياة البدائية . فالحديد والنحاس والمنغنيز تعمل بالاساس كمكونات للبروتينات المستخدمة في عملية التمثيل الضوئي . كان دي او هول (D.O. Hall) قد اقترح ان الفريدوكسين ، وهو البروتين المتضمن للحديد والداخل في نقل الالكترونات في مسلات التمثيل الضوئي ، ربما كان أول بروتين تكون ، وعليه فانه من المعقول تماما أن تكون وسيلة لتسخير الطاقة من ضوء الشمس قد برزت في زمن مبكر من نشأة المنظومات البيولوجية . فان صح هذا فانه يتوجب لتفسير تنشئة عملية التمثيل الضوئي لدى المتعضيات في البحار أن تحسب لوفرة اكبر من هذه العناصر في مياه البحر آنذاك مما هي الحال اليوم . والآن بوسعنا أن نرى ان عندما نشأت المتعضيات الضوء تمثيلية قبل أكثر من ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة خلت كانت كيمياء هذه العناصر في الاحوال الاختزالية للارض الاركية تختلف عما هي عليه اليوم.

Table 16.2. Concentrations of frequently required heavy metals.

| | requirement Plant | Crust (mM) | Sea and air |
|------------|----------------------|---------------|-------------|
| Iron | 0.400 | 0.015 | 0.0001 |
| Manganese | 0.200 | 0.43 | 0.000002 |
| Zinc | 0.060 | 0.87 | 0.000050 |
| Copper | 0.020 | 1.1 | 0.000075 |
| Cobalt | 0.0003 | 17 | 0.000036 |
| Molybdenum | 0.0002 | 900 | 0.0001 |

Source: Adapted from J.H. McClendon, J. Mol. Evol. 8, 175-195 (1976).

الجدول ٢/١٦ - تركيزات المعادن الثقيلة المطلوبة كثيرا . (المصدر : محورة من جيه ايج ماكليندون في مجلة النشوء ، ٨ ، ص ١٧٥-١٩٥ (١٩٧٦) .

لما كان العديد من المعادن الثقيلة اكثر غزارة في القشرة مما في مياه البحر ، حتى في الاحوال الاختزالية ، فانه لربما اندمجت في انزيمات المنظومات البيولوجية المتقدمة بعدما خلقت النشأة التطورية حاجة اليها . ويبدو ان الكوبالت والموليبدنوم يقعان في هذه الفئة ، والكوبالت كجزء من الفيتامين ب١٢ (B12) ، والموليبدنوم في اوكسداز الزانثين (xanthine oxidase) في الفقريات ، يرجعان بوضوح الى تطور متأخر . انما للكوبالت ايضا صلة بتثبيت النيتروجين مثلما للموليبدنوم بالنيتروجيناز (nitrogenase) . مع ذلك ، ان الخضار الحبوبية او القطانية (legumes) يكتريهاها التعايشية لتثبيت النيتروجين ، تكف عن احتياج الموليبدنوم اذا توفرت الامونيا^(٨) . لكن مرغوليس^(٩) ترى بعكس هذا ان النيتروجيناز في تثبيت النيتروجين بدأ في المتعضيات الاولى ، وبما ان العنصر الجوهري موليبدنوم منخفض الوفرة ذهب بعض الباحثين الى اقتراح أصل للحياة من خارج الارض^(١٠) . لكن يبدو ان الاحتمال الاكثر هو أن كلا الكوبالت والموليبدنوم لم يكونا ضروريين عند اول ظهور المنظومات البيولوجية على الارض وانما اندمجا بعدما كانت النشأة قد قطعت شوطا طويلا .

كان دور المغنيسوم كجزء من اليخضور قد تطور مع ظهور الطحالب الخضراء قاروية في زمن لاحق . ان تواجد بوفيرينات الفناديوم (vanadium) والنيكل (nickel) في البترول او النفط الخام لا يدل على ان هذين المعدنين كانت النباتات تستخدمها في عملية التمثيل الضوئي . بل التفسير الاكثر

عقلانية هو انها تتجا عن ازالة المغنيسيوم لتشكيل شبكات الفناديوم والنيكل الاكثر استقرارا اثناء تكون البترول.

من جهة أخرى ربما ان الكالسيوم، الذي هو ضروري للغاية في الحيوانات المعاصرة لتفاعلات فيولوجية عديدة وايضا للبنية الهيكلية ، لم يكن عنصرا جوهريا بدائيا، ويبدو انه اصبح حاجة اشتقاقية عندما طورت النباتات والحيوانات بنى خارجية للخلايا.

وجد ماكليندن في فحوصاته ان هناك حدودا فاصلة لا يمكن ان يقع عنصر دونها ويستمر بالتوفر بكميات وافية للمنظومات البيولوجية . يقع التركيز الادنى للبحار ما بين واحد واثنين (٢-١) نانومولار وما بين عشرة الى واحد وعشرين (١٠-٢١) ميكرومولة بالكيلوغرام في قشرة الارض . والكوبالت والموليبدنوم فقط يدانيان المستوى الاوطأ لكن الاعتماد عليهما في الظاهر كان نشأ في وقت متأخر وليس مطلقا . بعض العناصر ، كالروبيديوم (rubidium) والسترونشيوم (strontium) ، تتوفر بغزارة كافية وهي كيميائيا صالحة للعمليات الحيوية ولكنها لا تستخدم نظرا الى الوفرة الاكبر لعناصر مماثلة.

توجد مادتان اخريان لا يمكن الاستغناء عنهما لتكوين المنظومات البيولوجية ، وهما الماء والدهنيات . لكل منهما خواص فريدة تختلف عنها في الآخر، وهذا السلوك المتناقض لخواص كل منهما هو الذي يجعلهما ضرورة مطلقة للحياة.

ان الماء اكثر من مذيب للتفاعلات البيوكيميائية وهو في أغلب الاحوال عامل متفاعل . تشمل الكيمياء الخلوية بوجه رئيس تكوين وحلماة المشتقات الحامضية، والفسفرة والربط الاقتراني (coupling) للنووتيدات هي تفاعلات تآسترية (estrification) ، بينما تمثل البروتينات عملية اميدية (amidation)



ولما كانت هذه التكتيفات (condensations) تشمل ازالة الماء بين العوامل المتفاعلة ، بينما الحلماة هي اضافة جزيئة من الماء، فان الماء جزء مباشر من التفاعلات . عند اجراء هذه التفاعلات في وسط مائي يبلغ تركيز الماء خمسة وخمسين (٥٥) مولار . وفي التركيز العالي يلعب الماء دورا مهما في تثبيت موضع توازن التفاعل.

بوسع الماء أن يعمل كحامض وكقاعدة ، ويقوم بكلتا الدورين في العمليات البيولوجية . يعمل الماء كقاعدة ضعيفة ويتقبل بروتونة (proton) من تفكيك مجموعات حامض الكربوكسيليك.

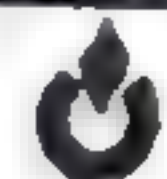


وفي برتنة (protonation) الامونيا يعمل كحامض ، أي انه يقوم بتوريد البروتون



وفي تحفيز عملية التغير النظري (mutarotation) للامونيا يعمل بكلتا الصفتين أي كحامض وكقاعدة.

ان كون الماء سائلا ابدا في درجات الحرارة الاعتيادية يعود في الواقع الى أحد خواصه الأبرز. ان الماء لا يتواجد كجزيئات مفردة في الظروف العادية العادية ، انما هو بالاحرى عرض أو تفنيد جزيئي يني للجزيئات مرتبطة معا بأربطة هيدروجينية. ويسكن لجزيئة من الماء أن تشارك في تكوين اربعة روابط هيدروجينية كحد اقصى، وهذه الشبكة الرابطة هي التي تمنح الماء درجة غليان عالية بالرغم من بساطة جزيئته. انما اذا كان



H_2O يملك خواصا أكثر شبيهاً بتلك الهيدريدات (hydrides) العناصر الأخرى من المجموعة ١٦ (VIa) للجدول الدوري، H_2Te H_2Se H_2S فلم تكن درجة غليانها (١٠٠°) منوية بل (٨١°) منوية (أي ناقص واحد وثمانون منوية). والماء من المواد القليلة التي تتمدد عند التجمد ، وتجعل الحالة الصلبة أقل كثافة من السائلة . لكن لو أنه كان يملك كالأغلب المواد ، فإن الثلج أو الجليد ، بدلا من العوم ، كان سيفوض ، وكانت البحيرات لتتجمد صلبة أثناء الشتاء. وفيما تراكم الجليد في قاع البحار كان حجم أو محتوى الماء سيصبح أقل وأكثر ملوحة بالترايد . وصفة أخرى للماء هي قدرته العالية فوق العادة لتقبل الحرارة وهذه تعمل كمهدئ ، للبيئة البيوكيميائية الباطنية. ومن المعتقد أن مكان تواجد للحياة بدون هذه الصفات الخاصة للماء، رغم أن انعدامها كان بالتأكيد سيخلق مشاكل جديدة كلية.

لكن كل هذه السمات تعود الى الصفة الوحيدة للماء التي تجعله يتعدى الاستثناء عنه للحياة . أن قدرة الماء على تشكيل تضيدة من اربطة هيدروجينية قوية مع ذاته هي صفة او خاصية لها تأثير عظيم على المنظومات البيولوجية . فالكثير من الاسناد الذي يملك البروتينات المعقدة مما في ترتيبها الثالث أو الثالثوية (tertiary) متأث من بنية (ماء) اللازمة حولها. ثم ان العلاقة أو الصلة الخاصة بين الماء والدهنيات هي التي خلقت السمات المألوفة للخلايا . وبعدم تازجها يملك الماء والدهنيات فاصلا بينا يتيح مجالا من التماس للفاعل بين المواد المتشابهة او المتناقضة (dissimilar) كانت لتعجز عن التفاعل اعتياديا في نظام فردي الطور، ويجعل التحفيز أو الكتلة (catalysis) مسكنة.

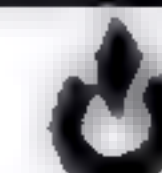
تشكل الدهنيات فئة من المركبات العضوية مقاومة الذوبان أو تذوب قليلا في الماء ، ولكنها تذوب في محاليل عضوية مذيبة للدهنيات . والحوامض

الدهنية تريغليسريد او ثلاثي الغليسريد (triglycerides) ، والفوسفودهنيات (phospholipids) والفليكو دهنيات (glycolipids) تنتمي الى هذه الفئة من المركبات. تصبح الدهنيات المتضمنة للسلاسل البرافينية كالحوامض او مشتقاتها مقاومة للذوبان عندما تتجاوز السلسلة الدهنية (fatty acids) الأليفاتية حوالي أربع وحدات من الميثيلين (methylene) ، وذلك لأن تشبيكة الماء الممتدة من النهاية القطبية لجزيئة الدهنية عند هذه النقطة تعجز عن احتواء أو تمدد الرفل الهيدروكاربوني (hydrocarbon tail) فتبقى الدهنية مقاومة للذوبان . ولما كانت متافرة من الماء فإنها تتحجب من بنية الماء وتمتزج أو تتألف ببعضها، وهذه الخاصية الطبيعية الملموسة للدهنيات تجعلها حيوية الضرورة لتكوين الخلية.

تتألف الخلية من ترتيبية محكمة أو مكتنزة من الجزيئات البيوكيميائية مغلقة في غشاء شبه ترشيحي، والغشاء طبقة ثنائية من الفوسفوردهنيات مع بروتينات وثيقة الصلة به في ترتيبات مختلفة ، بما في ذلك الارتباط بالنهايات القطبية للدهنيات في الفاصل بيني الماء - الدهنية . لكن بما أن الخلايا تتواجد في البيئات المائية فإنها لها سمات عديدة لا تسد احتياجاتها الا الدهنيات فقط.

والخلية غير قابلة للذوبان ، وحتى المواد الشديدة المقاومة للذوبان تتحلل فيها الى حد اشباع الوسط الذي يكتنفها . فاذا كانت الخلية ذات غشاء ليس كليا مقاوما للذوبان ، فستكون النتائج تدميرية ، لأنها ستظل تواجه خطر الإبادة بالذوبان والانهلال.

إضافة الى كون الغشاء مقاوما للذوبان ، يتوجب ايضا أن يكون منفرا للماء، لأن حجب الماء هو الذي يجعل الدهنيات تجتمع معا لخلق طبقة ثنائية تعمل كمستوى الاتصال بين المقاصير المائية المختلفة. والدهنيات ،



زيادة على ذلك ، أخف وزنا من الماء بينما المركبات البيولوجية أكثر كثافة من الماء بقليل، وعند امتزاج الدهنيات بالمركبات الأخرى يمكن أن تداني كثافة المزيج الناتج كثافة الماء.

إن الفوسفودهنيات جوهريّة الضرورة ومتواجدة في جميع المنظومات البيولوجية . تتخذ الفوسفودهنيات ذاتيا تضريرة معينة في الماء بحكم احتوائها على نهاية قطبية تتفاعل مع جزيئات الماء وسلاسل الهيدروكربون المحبوبة عن الماء . وعند ترجيح أو خض خليط من الفوسفودهنيات والماء تتكون جسيمات كروية صغيرة تسمى بالدهنوسومات (liposomes) ترافق الجزيئات الفوسفودهنية في باطنها بطبقات مزدوجة مع سلاسل الهيدروكربون مؤتلفة وتمتد مجموعات الفوسفات القطبي الى الخارج بالاشتراك مع الماء . يمكن تكوين الدهنوسومات في مسلسل من الطبقات المزدوجة المتداخلة ، كل منها على هذا المنوال . هناك ما يشبه بالتجمع الذاتي يقوم بخلق تضديد للمواد في باطن الكرة ويمنع انتشار الايونات والجزيئات عبر حاجز الدهنية ، وهو يتكون تلقائيا مع الفوسفودهنيات في الماء، وهو سمة ثابتة في جميع المنظومات البيولوجية.

يبدو ان الحد الأدنى من المتطلبات اللازمة لظهور خلية وظيفية يتألف من تسعة عناصر جوهريّة ، وبيئة مائية ملائمة، وتكون حوامض النويك الصغيرة كالاتب والهضميتيدات والفوسفودهنيات . تتكون حوامض النويك من انصاف بيورينات ويريبيديينات وريبوزات ، وهضميتيدات الحوامض الامينية ، وفوسفودهنيات الفليسرول الدهني، ووحدات فرعية صغيرة عديدة أخرى . وهذه هي لبنات بناء الجزيئات الضخمة والبنى لتعضية حية.

لكن المعضلة هي ان جميع لبنات البناء هذه لتتشنة متعضية حية تأتي من مصدر واحد فقط، وذلك هو متعضيات حية أخرى . وهكذا نجد انفسنا قد عدنا الى البداية . فاذا كانت لبنات البناء لتشييد منظومة حية تأتي فقط من منظومات حية أخرى، كيف اذن جاءت الخلايا الاولى الى الوجود؟

الفصل السابع عشر - البحث عن البنات البنائية

في عام ١٨٠٧ عندما قام برزيليوس بتعريف المركبات العضوية بصفتها منتوجات المنظومات البيولوجية كليا دون غيرها، كان مصيبا الى حد كبير، ولم يكن قيام تلميذه فريدريش فوهلر في عام ١٨٢٨ بتمثيل اليوريا من سيانات الامونيوم (ammonium cyanate) اكثر من سوق الادلة الايضاحية الثبوتية على امكانية تمثيل المركبات العضوية من كيميائيات لا عضوية . لكن، بدون يد الانسان التوجيهية بقيت المركبات العضوية ضمن نطاق البيولوجيا . نشأت الكيمياء العضوية كفرع من الكيمياء اللاعضوية وبدون منازعة الحقيقة القائلة ان المركبات البيولوجية يتم انتاجها في الطبيعة فقط من قبل المتعضيات الحية.

لكن آنذاك جرى ابطال مبدأ التولد التلقائي، الفكرة القائلة بأن الحياة الميكروبية نشأت تلقائيا ، وذلك بقيام لويس باستور في عام ١٨٢٧ باجراء بضع تجارب بسيطة . وحتى الاعتقاد بأن الحياة مردها قوة حيوية لا شأن لها بالجماد كان قد بدأ يفقد اتباعه ازاء اتساع واتضح كيمياء المنظومات البيولوجية . غير ان هذا النبذ للمعتقدات والمبادئ القديمة قبل الاستعاضة عنها بجديدة خلق ثغرة حادة في مفهوم العلوم للعالم الملموس، وبقي أصل الخلية البدائية سراً دفيناً مغلقاً اذا أمكن تعريف جميع الكائنات الحية بسنطوق الخلية البيولوجية ، والخلية هي وحدة وظيفية من المركبات الكيميائية وعملياتها التفاعلية ، كيف اذن جاءت الخلايا الاولى الى الوجود في الارض البدائية؟

ولاسيما، كيف تمكنت الخلايا الحية الاولى من الحصول على الحوامض الامينية التي تصنع بروتيناتها؟ فمتى ما تمكنت الخلايا من تمثيل البروتينات

يصبح بمقدورها انتاج الانزيمات التي كانت بمثابة المفتاح للماكنة البيولوجية بأسرها . لكن جميع الحوامض الامينية الموجودة في الطبيعة تأتي من نبات او حيوان او ميكروب في زمن او آخر . وحتى لكي تتمكن النباتات من استخدام ثاني اوكسيد الكربون ، والفلزات ، والماء ، لانتاج الحوامض الامينية، والسكريات، والدهنيات ، سيلزمها حشد معقد من الانزيمات والبنى الخلوية . في الاحوال الجيولوجية القاحلة العقيمة للارض ما قبل البيولوجية كان من غير المعقول البتة تصور كيف ابتدأت حتى ابسط اشكال الخلية البدائية . وظلت هذه المعضلة تقض مضجع العلماء طوال اكثر من قرن واحد .

من بين أقدم المحاولات لصوغ جواب للمعضلة كانت محاولة الفسيولوجي الالماني العظيم ادوارد بفلوغر (Eduard Bflüger) . ففي ورقة بارعة قام بنشرها في عام ١٨٧٥ طرح بفلوغر^(١) ان المركبات العضوية البسيطة ربما تكونت من فلزات لا عضوية بفعل الاحوال الطبيعية للارض البدائية ، وأشار، استنادا الى المعرفة الكيميائية المتوفرة قبل مائة عام، الى أن البوتاسيوم والكربون ينتجان سيانيد البوتاسيوم (potassium cyanide) عند تسخينها معا الى درجة عالية في الهواء ، وعلى لربما ان العواصف الرعدية كانت قد فعلت نفس الشيء . أدرج في ورقته عدة تفاعلات أخرى توضح كيف يمكن انتاج المركبات العضوية من مواد لا عضوية ، وأن عند تسخين ثاني كبريتيد الكربون (carbon disulfide) مع كبريتيد الهيدروجين (hydrogen sulfide) نحصل على الاثيلين ، وكما كان برثيلوت (Berthelot) قد وجد، ان الميثان والكربون والهيدروجين تتفاعل تحت التفريغ الكهربائي لتعطي الاستيلين الذي يمكن أكسده الى حامض الاوكساليك (oxalic acid) . عند تسخين أول اوكسيد الكربون مع هيدروكسيد البوتاسيوم يتكون لدينا فورمات

البوتاسيوم (potassium formate) ، ومن تقطير الفورمات استحصل بفلوغر على الميثان ، والاثيلين، والبيوتلين (butylene) والاميلين (amylene) ومماثلات اعلى . عند تسخين فورمات الامونيوم، تكون منها سيانيد الهيدروجين . كما ان تمرير الامونيا فوق الكربون المتوهج اسفر عن تكون سيانيد الامونيوم . كان معلوما ان السيانيد مركبات تفاعلية ، ولذلك افترض بفلوغر ان السيانيد تنضي الى البروتينات، وطرح تصورا ان اصل الحياة سبقة فترة وسيطة كانت المركبات العضوية عديمة الحياة تتبلر أثناءها لتصبح بروتينات ذات طبيعة حية .

للاسف ان بفلوغر عاش في زمن كانت البنية الاولى للذوات لا تزال قيد التحديس . طرح نظرية للبروتوبلازما يقول فيها انه يظن ان النيتروجين كان في الاكثر بشكل السيانوجين . لكن عندما سقطت نظرية سيان - بروتين (cyan-protein) لبفلوغر ، سقطت معها نظريته حول اصل الحياة ايضا ، وانقضى زهاء الخمسين سنة قبل ظهور اية نظرية هامة حول أصل الحياة .

في عام ١٩٢٢ طرح البيوكيميائي الروسي اوبارين (A.J. Oparin) نظرية الى الجمعية النباتية في موسكو حول الالتام الذاتي للمركبات العضوية اللاحيديوجينية التكوين (abiogenetically formed) كطلائع (precursors) للخلايا الاولى . وقد نوّظ ان هذه الطلائع كانت قد نشأت بالاغذاء على المركبات العضوية اللاحيوية حتى تطورت الى نقطة امتلاكها القدرة على تمثيل بيوكيميائياتها بنفسها . اقترح اوبارين ان الهيدروكربونات (hydrocarbons) كانت المركبات العضوية الابتدائية التي تكونت بتفاعل الماء وكاربيدات المعادن (metal carbides) الموجودة في لب الارض الحديدي . عند التقاء الكاربيدات والبخار في سطح الارض نشأت عنهما الهيدروكربونات . قال انها كانت ستحترق بفعل الاوكسجين في الهواء لكن

التفاعل لم يكن ليكون تاما بحيث ان اول اوكسيد الكربون ومشتقات
الاوكسجين من الهيدروكربونات والكحول والالديهايد والكيثون وحوامض
الكربوكسيليك تكونت بالنتيجة ، واعتقد ان مركبات النيتروجين كانت
مشتقة من السيانوجين المتكون من تفاعل نترت المعادن (metal nitrites)
مع الهيدروكربونات . قام بنشر نظريته في عام ١٩٢٤^(٢)، وتبعها طبعة منقحة
في عام ١٩٣٦^(٣).

كان اوبارين متأثرا بآراء عصره القائلة ان الارض كانت في مرحلتها
الاولى ذائبة وان الجو بقي جوهريا كما هو بدون تغيير عبر دهور التاريخ،
عندما ابدى العالم الوراثي (geneticist) البريطاني جيه بي اس هالدين
(J.B.S. Haldane) تأييده لنظرية النشوء الكيميائي في عام ١٩٢٨ افصح
عن فكرة جو خال من الاوكسجين . بالنسبة الى هالدين ان قوى الضوء ما فوق
البنفسجي الفاعلة على الماء وثاني اوكسيد الكربون والامونيا
خلقت تنويعا من المواد العضوية تراكت في البحار البدائية حتى بلغت قوام
«حساء مخفف حار».

ان ادراك هالدين ان الجو الخالي من الاوكسجين كان المفتاح الى تمثيل
المركبات العضوية كان بلاء باهرا للتبصر في غياب اصل الحياة . لكن
الغريب في طبيعة الانسان هو النزوع الى جعل صيغة العبارة الفاتنة تهيمن
على تفكيره، فاصبح الحساء المذوق الحار لهالدين «الحساء البدائي» .
وانشرت هذه العبارة وتعمت على نطاق واسع طوال أكثر من خمسين سنة
دونما أي اثبات جيولوجي على صحتها في الواقع مطلقا.

لم يكن يؤخذ عموما قبل هالدين بفكرة نشوء الحياة في بيئة منقوصة
او مختزلة ، وكان الاجماع سائدا على ان الاحوال المؤكسجة القائمة اليوم
كانت ضرورة لا بد منها للحياة وان الحياة نشأت في هذه الاحوال . لكن



باستور اكتشف اثناء دراسته للتخمر ان الحياة ممكنة بدون اوكسجين وطرح
حشدا من المتعضيات اللاهوائية التي كانت تؤايض المواد بدونه . وعندما وجد
هالدين في عام ١٩٢٨ ان عمليات التخمر التآيضية للمتعضيات الحية كانت
كلها مماثلة، بينما التفاعلات التأكسدية كانت في الاغلب مختلفة، خلص الى
ان التآيض اللاهوائي كان الاكثر بدائية ، وطرح ان المتعضيات الحية الاولى
كانت لا هوائية كان مصدرها من الطاقة للتآيض المواد الشبه مستقرة
(metastable) الناتجة عن فعل الضوء ما فوق البنفسجي القادم من الشمس .

ولم يكن حتى عام ١٩٢٩ ان تم الاكتشاف ان الهيدروجين هو العنصر
الاكثر غزارة في الكون^(٥) . بدا واضحا ان جو الارض المؤكسج لا يمكن ان
يكون هو نفس غلافها الغازي الاصلي في كون يتألف معظمه من الهيدروجين .
وعليه فقد كان هناك طريقتان لانتاج الاوكسجين الطليق، اما بالتفكيك الضوئي
للماء في أعالي الجو او بالتمثيل الضوئي، وبديء الآن بأدراك اهمية المتعضيات
الضوء تمثيلية المولدة للاوكسجين في نشأة البيئة الارضية . قام اوبارين
بإضافة اشارة الى أصل الارض اللاهوائي في الطبعة المنقحة لكتابه ، ويسود
الاعتقاد في العموم الآن ان نشأة الحياة على الارض خلقت الحالة المؤكسدة
للجو والبحار .

في أعقاب الحرب العالمية الثانية بدأت فكرة امكان تفسير نشأة الحياة
بكيمياء الارض البدائية تجتذب الانصار ، وكانت التحديسات تشير الى ان
الحياة نشأت في وسط عضوي ما قبل الحياتي . غير ان عقدة المشكلة كانت
ايجاد شرح معقول لكيفية امكان انتاج المواد العضوية من الغازات والاملاح
والفلزات اللاعضوية قبل تواجد أية منظومات بيولوجية . لما كانت النباتات
تنتج المركبات بأختزال ثاني اوكسيد الكربون ، فان أحد السبل الى ايجاد
الحل كان القيام بأنجاز هذه العملية بوسيلة من الوسائل المادية . لكن حتى



إذا أمكن الحصول على مركبات صغيرة ، فإن هذه بدورها سوف يلزم تكثيفها إلى سلاسل طويلة قبلما يمكنها أن تنخفض عن خلية وظيفية . في عام ١٩٥١ ، قام جيه دي برنول (J.D. Bernal) وهو خبير كريستالوغرافي وفيزيائي من جامعة لندن بوضع مؤلفه: «الاساس المادي للحياة: The Physical Basis of Life» ذكر فيه ربما ان الامتصاص في اسطح الاطيان الصلصالية كان وسيلة لتكثيف وبلورة مركبات ما قبل حيائية بسيطة.

لم تكن التكنولوجيا التحليلية آنذاك قد بلغت المستوى الذي اتاح تحليل الكيمياء المعقدة للخلية . كانت حوامض النويك معروفة ، لكن اهميتها بالضبط كانت لم تزل غير اكيدة ، وكانت البروتينات تعتبر المادة الأولية للحياة . ثم جاء جهاز الفرز أو النبذ المركزي الفائق السرعة (Ultracentrifuge) ليتمكن البيوكيميائيين من التثبت ان للبروتينات اوزاناً معينة، لكن ما اذا يمكن اعتبارها مركبات متوحدة متسقة مثل الكيمائيان العملاقة بقي موضع الارتياح، لكنها كان لها خصائص غروانية^(٧) (colloidal) ثم يجر الاعلان عن اول بنية اولية تامة للبروتين الى أن قام سانجر^(٨) (sanger) برسم سياق الانسولين (insulin) في عام ١٩٥٣ ، وهو انجاز كان العديد من البيوكيميائيين حتى ذلك الوقت سيعتبرونه من باب المستحيل .

رغم ان فكرة نشوء الحياة عن مجموعة من التفاعلات الكيميائية في الارض البدائية كانت تروق للمنطق العلمي، فانه لم تكن توجد اية بيانات تجريبية لاثبات كيف كان ذلك ممكناً . وفي الوقت الذي كان لا يزال يجري تفسير عملية التمثيل الحيوي للبروتينات بمنطوق مفهوم افتراضي غامض متداول، فقد بدا ان امكانية تفهم كيف امكن نشوء شيء معقد للغاية كالخلية الحية من الفلزات اللاعضوية على الارض البدائية كان حقاً بعيداً عن المنال .

في عام ١٩٥١ قامت مجموعة من بركلي برئاسة ملفن كالفن^(٩)

(Melvin Calvin) بمحاولة لاخترال ثاني اوكسيد الكربون باستعمال جهاز السيكلوترون (cyclotron)، وهو جهاز استبسط لتسريع الجسيمات الذرية لدراسة نواة الذرة . كانت هذه تجربة يتم فيها افتعال او تقليد آثار الاشعاع من قشرة الارض على مكونات الارض البدائية لضرب المثال على النشأة اللاحيوية للمواد العضوية . وعند قصف خليط من ثاني اوكسيد الكربون في الماء مع قدر محفز من ملح الحديد الثنائي التكافؤ بأيونات الهليوم بقوة اربعين مليون الكتروفولت (40meV) من السيكلوترون قطر (٦٠) بوصة، كانت الكيمائيات الناتجة تحويلاً بنسبة عشر بالمائة (٠.٠١٪) الى الفورمالديهايد . اثبتت التجربة على حصول بعض الاختزال . غير ان النتائج كانت غير مقنعة لدرجة ان الهوة بين الارض اللاعضوية والبروتينات بقيت واسعة ومكثبة.

بعد عامين من ذلك ، في ايار من عام ١٩٥٣ ، قام ستانلي ميلر^(١٠) بنشر نتائج تجربته بالتفريغ الكهربائي . وخلال سنة اعلن فريدريك سانجر (Frederick Sanger) عن البنية البدائية للانسولين ، وهو اول بروتين يتم التثبت من سياق حوامضه الامينية مطلقاً . وفي حوالي نفس الفترة قام جيمز واتسون وفرانيس كريك^(١١) (James Watson and Francis Crick) بالبرهنة على ان الاساس الكيميائي لطبيعة الحياة التكاثرية او التناسلية كان حامض النويك المزدوج اللولبية .

اتبع ميلر تجربته الاولى بتتويجات حول تركيبة خليط الغاز وبتحليل تفصيلي للمواد الناتجة عن التفاعل^(١٢) . كان قدر كبير من الناتج مادة قازية غامضة ، وكان غلايسين (glycine) الحامض الاميني المنتج بأكبر قدر (٢١) بالمائة) مبنياً على الكربون . ومن بين القائمة الطويلة للمنتجات المتولدة عن التفاعل ، كانت أربع منها فقط حوامض أمينية تقع في البروتينات .

قام ميلر بدراسة آليات تجربة التفريغ الكهربائي واكتشف أن سيانيد الهيدروجين (HCN) والالدهايد (aldehydes) كانت المتوسطات (intermediates) النشطة التي تكونت في التفاعل . فاستنتج من هذا أن المتوجات كانت قد اصطنعت بفعل تفاعل ستريكر (strecker reaction) وهو أقدم الأساليب المعروفة لتمثيل الحوامض الأمينية . ولاختبار هذه الفرضية قام باختبار خليط من سيانيد الهيدروجين والالدهايد والهيدروجين والأمونيا بأغلائها في الماء لمدة اسبوع واحد . تم الحصول على منتجات مماثلة لتلك التي تكونت بتجربة الشرارة أو التفريغ الكهربائي، وذلك بمقادير لا يستهان بها ، مؤيدة آراءه عن الآلية.

كان قد تواجد عدد من مصادر الطاقة على الأرض البدائية تمكنت من الاسهام في تمثيل المركبات العضوية . ومن بين الأكثر أهمية من هذه كان الضوء ما فوق البنفسجي من الشمس ، والتفريغات الكهربائية في الجو ، والنشاط الإشعاعي في التربة ، والطاقة الحرارية وبين هذه كان الإشعاع ما فوق البنفسجي من ضوء الشمس المصدر الأكبر إلى حد بعيد.

واليوم تقوم الطبقة الأوزونية بحجب كل إشعاع يقع دون كثافة (٣١٥) نانومتر . لكن الدفق الشمسي كان ينصب على الأرض البدائية بشدة عتيفة ويؤثر بقوة على الجو البدائي . لما كان امتصاص الميثان يمتد إلى (١٤٥) نانومترا ، والماء إلى (١٦٥) نانومترا ، والأمونيا (٢٢٠) نانومترا ، فإن التفكيك الضوئي لهذه الجزيئات كان ليحصل بهذه الموجات القصيرة للإشعاع ما فوق البنفسجي ، لخلق جذر أو جذريات (radicals) كيميائية شديدة التفاعل . من المؤسف ، توجد عوائق تكنولوجية تحول دون استخدام الضوء ما فوق البنفسجي في المختبر لافتعال تمثيل المركبات العضوية في الجو البدائي ، ولم تجر غير بعض التجارب بأطوال الموج المتوفرة فقط (١٣).

Table 17.1. Yields from sparking a mixture of CH_4 , NH_3 , H_2O and H_2 .

| Compound | Yield (pM) | Yield % |
|--------------------------------|------------|---------|
| Glycine | 360 | 2.1 |
| Glycolic acid | 560 | 1.9 |
| Sarcosine | 50 | 0.25 |
| Alanine | 340 | 1.7 |
| Lactic acid | 310 | 1.6 |
| N-Methyl alanine | 10 | 0.07 |
| α -Amino-n-butyric acid | 50 | 0.34 |
| α -Aminoisobutyric acid | 1 | 0.007 |
| α -Hydroxybutyric acid | 50 | 0.37 |
| B-Alanine | 150 | 0.76 |
| Succinic acid | 40 | 0.27 |
| Aspartic acid | 4 | 0.024 |
| Glumatic acid | 6 | 0.051 |
| Iminodiacetic | 55 | 0.37 |
| Iminoaceticpropionic acid | 15 | 0.13 |
| Formic acid | 2,330 | 4.0 |
| Acetic acid | 150 | 0.51 |
| Propionic acid | 130 | 0.66 |
| Urea | 20 | 0.034 |
| N-Methyl urea | 15 | 0.051 |

Note: 59 moles (710) of carbon were added as CH_4 . The percent yields are based on carbon.

Source: Stanley L. Miller and Leslie E. Orgel, The origins of Life on the Earth (Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1974), p. 85.

الجدول ١٧/١ - حصائل من خليط شرارة من H_2 , H_2O , NH_3 , CH_4 ملاحظة . اضيفت ٥٩ مولة (٧١٠) من الكربون بمثابة CH_4 . والنسب المئوية لالحصائل مبنية على الكربون . على الأرض ، ص ٤٥ . المصدر : ستانلي ايل ميلر وليزلي ئي اورجيل في: اصول الحياة

Table 17.3. Present sources of energy averaged over the earth.

| Source | Energy (Calories/cm ² /year) |
|---------------------------------|--|
| Total radiation from the sun | 260,000 |
| Ultraviolet light | |
| <300 nm | 3,400 |
| <250 nm | 563 |
| <200 nm | 41 |
| <150 nm | 1.7 |
| Electric discharges | 4 |
| Cosmic rays | 0.0015 |
| Radioactivity (to 1.0 km depth) | 0.8 |
| Volcanoes | 0.13 |
| Shock waves | 1.1 |
| Solar wind | 0.2 |

Source: S.L. Miller, H.C. Urey, and J. Oró, Origin of organic compounds on the primitive earth and in meteorites, J. Mol. Evol. 0, 59-72 (1976).

المصدر: إس ايل ميلار وايج سي يوري وجيه أورو . مصدر المركبات العضوية في الأرض البدائية وفي النيازك، مجلة النشوء الجزيئي ٩، ص ٥٩-٧٢ (١٩٧٦)

رغم ان الضوء ما فوق البنفسجي ربما كان مصدر الطاقة السائد لتمثيل المركبات العضوية ما قبل البيولوجية ، كان أغلبه بموجات طويلة لا تتفاعل مع الغازات المستعملة لافترال الجو البدائي الا أن كارل ساغان وبيشون خاربه (Carl Sagan and Bishun Khare) لاحظا ان الهيدروجين ، والميثان ، والامونيا ، والماء ، والايثان ، وربما ايضا أول اوكسيد الكربون والنيتروجين ، جميعها كانت شفافة كليا للضوء ما فوق البنفسجي يربو على (٢٤٠) نانومترا ، لكن كبريتيد الهيدروجين له تسلسل أو استمرارية امتصاص



Table 17.2. Boiling of H₂, NH₃, HCN, HCHO, CH₃CHO, C₂H₅CHO and H₂O for one week.

| Reaction product | Moles × 10 ³ | Yield Percent |
|---------------------------|-------------------------|------------------|
| Glycine | 98 | 16 |
| Alanine | 129 | 35 |
| α-Aminobutyric acid | 27 | 23 |
| Glycolic acid | 72 | 12 |
| Lactic acid | 42 | 12 |
| α-Hydroxybutyric acid | 15 | 13 |
| Iminodiacetic acid | 56 | 18 |
| Iminoaceticpropionic acid | 45 | |

الجدول ٢/١٧ - تغذية

H₂O, C₂H₅CHO, CH₃CHO, HCHO, HCN, NH₃, H₂

لمدة اسبوع واحد.

كان فيليب ابلسون^(١٤) (Philip Abelson) من معهد كارنجي بواشنطن أول من حقق امكانية تمثيل الحوامض الامينية بالتفاعلات الكيميائية الضوئية. عندما قام بتعريض محلول فورمات الامونيوم وهيدروكسيد الامونيوم وسيانيد الصوديوم وكبريتات الحديد الثنائي التكافؤ لاشعاع بموجة طولها (٢٥٤) نانومترا ، حصل على الغليسينونتريل (glycinonitrile) الذي تحلما الى غلايسين. قام آخرون باجراء التجارب باستعمال خلاط غازية مع اطوال موج ما فوق البنفسجي متعددة اسفرت عن تكون حوامض امينية أخرى^(١٥)، وتم تشخيص الغلايسين ، والالانين ، والالوسين ، كمنتجات من تسليط الاشعاع على الميثان والامونيا والماء وأول اوكسيد الكربون ، في ما بين (١٤٥) (١٨٠) نانومترا من الاشعاع^(١٦). وكانت الحوامض الامينية المتكونة حل الضوء ما فوق البنفسجي في العموم هي تلك المستحصلة من تجارب



واسعة تبدأ في حوالي (٢٧٠) نانومترا . اذن كان بإمكان كبريتيد الهيدروجين أن يعمل كمتقبل فوتون ابتدائي لالتفاف طاقة ضوء ما فوق البنفسجي الطويل الموجة وابتدار تفاعلات كيميائية . وجد ساغان وخاربه^(١٧) في تجارب الافتعال أن تواجد كبريتيد الهيدروجين مع الغازات المعرضة للضوء ما فوق البنفسجي بقوة (٢٥٤) نانومترا انتج حوامضا امينية ، واثبتا ان غزارة الضوء ما فوق البنفسجي في منطقة الموج الاطول من الطيف لربما كانت أحد المصادر الرئيسة للطاقة لتمثيل المركبات ما قبل الحيوية .

وبوسع الاشعاع المؤين ايضا أن يعمل كمصدر للطاقة . فقد تكونت حوامض امينية^(١٨) عند تعريض خليط من الغازات تفتعل الجو البدائي الى الاشعة السينية وأشعة غاما . غير ان مصدر الطاقة هذا لا يعتبر مساهما ذا أهمية في تمثيل المركبات ما قبل الحيوية ، لأن أغلب التآين كان ليحصل في الصخور السيليكاتية وليس في الجو .

ظهر تشكيك في أهمية الانشطة البركانية في تمثيل الحوامض الامينية . عند تسخين خليط من الغازات يفتعل الجو البدائي لدرجة حرارة الف ومائتين (١٢٠٠°) مثوية باستمرار لا تكون اي مركبات عضوية ويقتصر الناتج على توازن الغازات فقط . غير انه اذا تم تمرير الغازات ببطء فوق لابة ذائبة أو منصهرة ومن ثم اطفأها بسرعة ، يجري تمثيل تنوعية من الهيدروكربونات . وبهذه الطريقة يجري تكوين الفيل استيلين (phenylacetylene) ، وهو الطليعة الى الفيل الانين والتيروسين^(١٩) ، والاندول indole وهو طليعة التربتوفان^(٢٠) (tryptophan) . هذا التفاعل يقدم طريقة كان يمكن بها حصول الحوامض الامينية العطرية (aromatic amino acids) في ما قبل البيولوجية . لكن لربما ان هذه الحوامض الامينية لم تكن قد أصبحت جزءا من المنظومات البيولوجية الى أن تم تمثيلها بيوكيميائيا .

ومهما بدا غريبا ، فإنه من ضمن المعقول ان تكون الموجات الصدمية من المصادر الرئيسة لانتاج الحوامض الامينية . لقد قام أي بار-نان^(٢١) (A. Bar-Nun) وزملاؤه بضرب امثلة ايضاحية بغازات تفتعل جوا بدائيا بان في انبوبة صدم (shock tube) ترتفع درجة حرارة مقدمة الصدمة فيها الى ما بين الف والف (١٠٠٠-٢٠٠٠°) درجة كلفين (Kelvin) ضمن (١٠-١) ثانية ، مع الاطفاء السريع ، يحصل تحويل عال للغازات الى حوامض امينية . احتسب الخيران دفع الصدمة السنوي من نيازك المذنبات والنيازك المجهرية والرعد ووجدا انه يبلغ بالتقريب سرعة (calorie) واحد بالسنتيمتر المربع . وعلى نقيض هذا كانت الطاقة من ضوء الشمس ما فوق البنفسجي دون كثافة (٣٠٠) نانومتر لتبلغ حوالي الف (١٠٠٠) سرعة بالسنتيمتر الواحد . لكن موجات الصدمة اكثر كفاءة بمليون مرة من الضوء ما فوق البنفسجي لانتاج الحوامض الامينية . وبهذا الصدد ، كان سيمنكن توليد حوامض امينية بأموال الصدمة (١٠٠٠) مرة أكثر مما بأغزر مصدر للطاقة ، وهو الضوء ما فوق البنفسجي .

توحي هذه التجارب المختلفة الى وسط كان يجري فيه انتاج المركبات العضوية أو طلائعها في جو بدائي فتمطر هائلة لتتراكم في البحار الشابة ، وبأغتيال العديد من المركبات المتفاعلة الى منخفضات أو احواض ضامة حصلت التفاعلات لتوليد المزيد من المواد الاضافية . كانت هذه صورة جديدة ومثيرة للكيمياء التي حصلت على الارض قبل أن تتواجد الحياة عليها . ولم تعد نشأة الحياة ينظر اليها بمنطوق مواد لا عضوية غريبة في وسط جيولوجي يفضي الى قيام بنية لا بيولوجية تحتم عليها عبور تطور لا محدود قبل امكن تكون خلية حية ، فان المركبات ما قبل الحيوية المطلوبة لتشييد منظومة بيولوجية كانت الحوامض الامينية المألوفة لدى كل دارس للبيوكيمياء .

بعد انقضاء ثلاثة عقود من السنين ، من الممكن وضع تجربة ميلر في منظور أفضل بالنسبة الى نشأة الحياة . كان جو يوري (Urey) المتألف من الميثان والامونيا يعتبر الجو البدائي للارض اكتسبه عندما تكونت المنظومة الشمسية . لكن يوجد فيض من الشواهد للدلالة على ان الجو الاصلي كان قد ضاع وتعوض من الغازات المنبثقة من باطن الارض . اذن يبقى السؤال بأي حال اختلف الجو الثاني عن الاول؟

لقد بينت الدراسات ان تركيبة الغازات البركانية تتألف بوجه رئيس من الماء وثاني اوكسيد الكربون مع قدر كبير من الهيدروجين (٣٣) . يصدر الكلوريد ، بصفته المادة الاكثر غزارة ، بمثابة الحامض ، مثلما يفعل الكبريت ، والنيتروجين موجود بوجه رئيس كالعنصر . لم يمكن ان تتواجد الامونيا في الجو بأي مقادير ملموسة . وقد اشار ابلسون (٣٣) ان كمية من الامونيا تعادل النيتروجين الجوي الحالي كانت ستتجدد بفعل الاشعاع ما فوق البنفسجي في حوالي (٣٠) الف سنة . وعلى نفس الفرار كانت اذابتها العالية في ماء لتخلق توازنا كله جوهريا بحالة السائل في البحار . وعليه ، فإن جو الارض البدائية تألف من فضلات أو ترسبات الغازات البركانية بعد تعادلها بين نظام الجو والبحر . ويحتاج ابلسون انه كان سيتألف من تركيبة قوامها بوجه رئيس اول اوكسيد الكربون وثاني اوكسيد الكربون والنيتروجين والهيدروجين .

تتيح الطبيعة الجوهريّة لتجربة ميلر ليتألف جو الغازات الطلائع من أي تركيبة كانت على ما يظهر شريطة ان تكون اختزالية وان تتضمن مكوناتها الكربون والهيدروجين والاكسجين والنيتروجين . مع ذلك ، لربما كانت كيمياء الجو من الغاز المنبثقة مماثلة لتلك في خليط الميثان والامونيا انما ليس نفسها . عند تعريض خليط من اول اوكسيد الكربون والنيتروجين

والهيدروجين الى تفريغ كهربائي يأتي سيانيد الهيدروجين كالناتج الرئيس مع لا شيء آخر تقريبا سوى دون اوكسيد الكربون (O=C=C=C=O carbon suboxide) ، وثاني اوكسيد الكربون والماء (٣٤) . لا يستطيع المرء تحقيق مسلسل الديهايدات المتوسط الى الحوامض الامينية

بطريقة تفاعل ستريكر . بالنتيجة تصبح الكيمياء ما قبل الحيوية ليس «حساء» كما تصور ناشنا من جو من الميثان والامونيا ، وانما من سيانيد الهيدروجين (HCN)

يتعرض سيانيد الهيدروجين لتفاعلين اثنين مهمين . فهو يتحلل الى هيدروكسيد الامونيوم مع حامض النمليك ، وفي سوائل قلوية قليلا (alkaline) يتكثف مع ذاته ليدر تنويعا من المركبات ذات اهتمام بيولوجي . والناتج الرئيس من تكثيف HCN هو التترامر (tetramer) ، وحلماة التترامر تفضي

الى الغلايسين ، وقد أعلن جيه اورو (J. Oro) وأس كامات (S. Kamat) عن تحصيل مقادير صغيرة من الالانين وحامض الاسبرتيك عند تسخين سوائل بمقدار (٢٢٢ مولار) من السيانيد في درجة حرارة خمسة وسبعين (٧٥°) مئوية لمدة خمسة وعشرين (٢٥) يوما لكن هذا تركيز عال . فليتنى لتكون التترامر ليتجاوز تفاعل الحلماة يلزم أن يكون تركيز سيانيد الهيدروجين لا أكثر من حوالي عشر (١٠) المولار . وهذا تركيز غير حقيقي لسيانيد الهيدروجين في الاحوال الطبيعية ، انما كان ممكنا ان يكون اعتياديا لهيدروكسيد الامونيوم من حلماة سيانيد الامونيوم ، الذي كان يمكن تركيزه فيما بعد بالتبخير الجزئي للمحلول .

من الممكن أن يكون قد حصل تضاد لعامل التركيز هذا بفعل الضوء ما فوق البنفسجي . فقد وجد ابلسون ان سوائل او محاليل من ٠٠٢ ر-

١٠٠ مولار) من سيانيد الهيدروجين في pH (٨-٩) تعطي عند تعريضها الى ضوء بكثافة (٢٥٤) نانومترا خليطا يتحلما الى غلايسين، وسيرين، وحامض الاسبرتيك ، وحامض الغلوتاميك.

انطلقت المختبرات المختلفة في أعقاب تجربة ميلر تتابع البحوث مهمة بالغة بغية التدليل على امكانية التمثيل اللاحيوي لأكبر عدد ممكن من الحوامض الامينية البيولوجية العشرين (٢٠). بالنتيجة تم الاعلان عن انتاج جميعها في التجارب الافتعالية باستثناء اثنين منها هما الهستيدين (histidine) والأرجنين (٢١) (arginine). اضافة الى هذه انتجت تجربة ميلر العديد من الحوامض الامينية التي لا تستخدمها البروتينات.

يجوز ان تكون الحياة قد بدأت بأقل من هذا العدد بكثير. فمن أحد الأوجه، أن الكيمياء ما قبل البيولوجية المبنية على سيانيد الهيدروجين أكثر بساطة ولربما أكثر انطباقا بالصدفة الظرفية على نشأة الحياة . وعندما تتأمل عملية التمثيل الحيوي ندهش حقا من ضآلة عدد لبنات البناء الأساسية الموجود في الواقع (٢٢). بوسع البيروقات، والخلايا، والكاربونات، في بعض المتعضيات المجهرية ان تقدم كل الكربون المطلوب للتمثيل:

| | | | |
|-----------------|---------------|----------|------------|
| لوسين | leucine | سيرين | serine |
| ايسولوسين | isoleucine | غلايسين | glycine |
| حامض الغلوتاميك | glutamic acid | ميثيونين | methionine |
| لايسين | lysine | سيستين | cysteine |
| حامض الاسبرتيك | aspartic acid | الانين | alanine |
| ثريونين | threonine | فالين | valine |
| ارجنين | arginine | برولين | proline |

يمكن أن ينشأ البيروقات والخلايا من تجريد السيرين ، ويمكن الحصول على الخلايا من البيروقات ومن حامض الملوئيك (malonic acid) ثم ان الثريدوكسين، الذي يعتقد انه من أقدم البروتينات في النشأة ، قد تم تكوينه على ما يظهر من سياق متكرر للالانين والسيرين وحامض الاسبرتيك والغلايسين، وهذه كلها حوامض امينية تتج بأقصى السرعة والسهولة من سيانيد الهيدروجين.

اوضحت تجربة ميلر سهولة تكون لبنات البناء الحياتية واحتمالية تواجدها ما قبل الحياتي، وقد توفر عدد من مصادر الطاقة على الارض البدائية لانتاج المركبات البيولوجية. فكل ما مست اليه الحاجة كان خليطا من الغازات المختزلة ، وعلى تقيض هذا، لو كان الجو يتضمن الاوكسجين بالاصل ، والذي ظل الاعتقاد سائدا بضرورته لنشأة الحياة فترة طويلة ، لكانت الحياة لم تظهر الى الوجود مطلقا. لأن الاوكسجين كان سيغطي أي تفاعل يظهر قبل تمكنه من صنع اللبنة البنائية.

إبان ابلسون ان جوا يتضمن مقادير كبيرة من الميثان كان سيؤدي الى انتاج رواسب كبرى من المواد العضوية المنافرة للماء، ألا انه لم يتم العثور على مقادير كبيرة فوق العادة من الكربون أو المواد العضوية في الصخور السابقة لتاريخ أقدم المتعضيات . غير انه توجد مؤشرات الى عدد كبير من المركبات العضوية التي على ما يظهر تم تمثيلها في جو من الميثان والامونيا ، ليس في الارض البدائية وانما في السديم الغازي قبل تكون الارض.

لقد تم العثور على غازات هيدروكاربونية بالقرب من بحيرة هورون في كندا وبمناخ قاررة اوختسك في الاتحاد السوفياتي في تشكيلات الصخور البلورية التي لا صلة لها بالصخور الرسوبية (٢٨). اما المكان العظمى للبترول فهي بالحتم من اصل بيولوجي، انما عثر على لقايا في الاتحاد السوفيتي تشير

الى ان بعض قرارات البترول تنسب الى اشتقاق لا حيوي تدل الانبثاقات الغازية في هضبة خينسك في شبه جزيرة كولا الى تواجد الميثان وهيدروكربونات اقل تنتمي على ما يظهر الى اصل صهاري، ورغم ان هذه تعد بالمئات فنادر ما تتضمن هذه المصادر اية اهمية تجارية^(٢٩). يبدو ان هذه المادة العضوية ليست من بقايا «الحساء البدائي» وانما ما تزال باقية منذ زمن يمتد حتى الى ما قبل تواجد الارض. وهذه النظرية تنشأ من اكتشاف مواد عضوية في النيازك الساقطة ومدعمة بها.

الفصل الثامن عشر - النوسيد والنوتيد والاتب

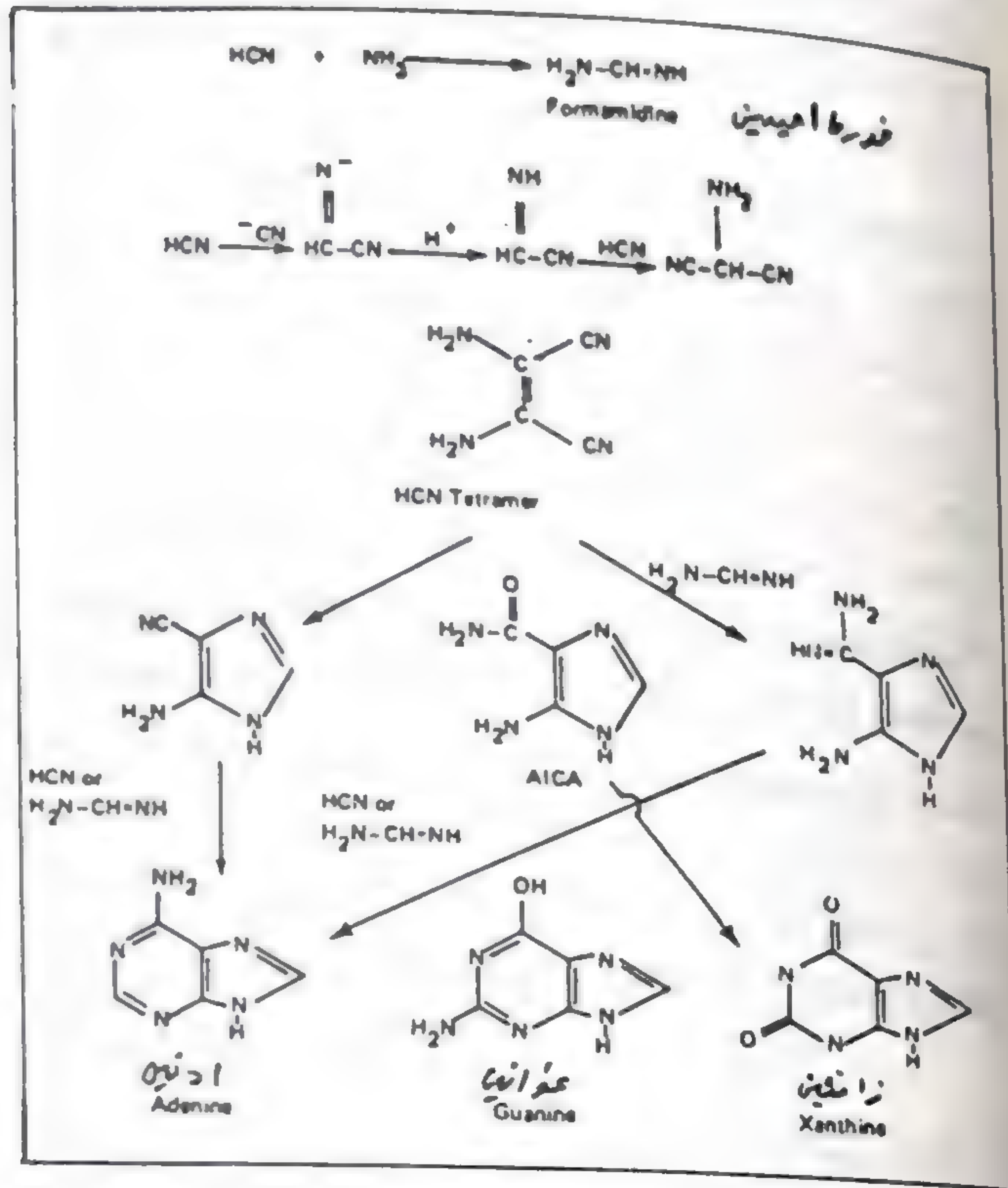
عندما اعلن ميلر عن تجربته بالتفريغ الكهربائي في عام ١٩٥٣ كانت كيمياء البروتين فرع البيوكيمياء الرئيسي المتقدم، وكان فرع البيولوجيا الجزيئية لا يزال حديث العهد. وكنتيجة لهذا الاهتمام بالبروتينات وللسهولة النسبية التي امكن بها قياس مقادير دقيقة من الحوامض الامينية، تركزت الدراسات حول نشأة الحياة ابتدائيا على الحوامض الامينية. لكن البروتينات ليست، ولم يمكن في أي زمن مضى ان تكون، حياة بحد ذاتها. ان التكاثر البيولوجي في جوهره هو عبارة عن تناسخ جزئي، وهو دور تقوم به حوامض النويك دون غيرها مطلقا. اين اذن كانت النوتيدات، لبنات البناء لحوامض النويك؟

ان النوتيدات مركبة من ثلاثة اصناف من الكيمائيات، هي قاعدة هيتروسيكلية وسكر وحامض الفوسفوريك، وهذه القواعد هي البيورينات الادنين والفوانين، والبريميديئات-السيستوسين، واليوراسيل، والثايمدين، والسكر هو اما ريبوز او دي اوكسي ريبوز (deoxyribose = ريبوز ناقص الاوكسجين). قبل التطرق الى تكون لبنات بناء الدنا يتوجب علينا أن نبحث التواجد ما قبل الحيوي لهذه المكونات البنيوية الثلاثة.

اوضحت تجربة ميلر الجسر الرابط بين المقومات الغازية لجو بدائي الى المواد العضوية للمنظومات الحية. على ما يظهر كانت عملية تثبيت ثاني اوكسيد الكربون والنيتروجين حدثا شائع الحصول بفعل مصادر الطاقة الطبيعية في تفاعل كان الناتج المتوسط او الوسيط فيه سيانيد الهيدروجين. فاذا امعنا النظر في الدور المكين لسيانيد الهيدروجين بدلا من تركيز اهتمامنا في الحوامض الامينية، فان المشهد سينتقل الى مجال اوسع.



منتوجا من النهدرين موجب (ninhydrin-positive) من هذا التفاعل . (راجع الياني التالي) .



ربما كانت بعض البيورينات قد بدأت تتكون على الارض البدائية حتى قبل تبخر سيانيد الامونيا المركز . لقد ابان ليزلي أورجل (Leslie Orgel) وجماعته^(٥) من معهد صولك في لاجولا بكاليفورنيا ان الضوء ما فوق البنفسجي

يتحلل سيانيد الهيدروجين الى هيدروكسيد الامونيوم وحامض النطريك، انما مزيدا من سيانيد الهيدروجين مع هيدروكسيد الامونيوم يفضي الى سيانيد الامونيوم . كان يمكن أن يؤدي اغتسال السمادات البدائية في بحيرات واحواض او منخفضات ضحلة مع تبخرات دورية حتى اليبوس او ما يدانيه الى تراكم مقادير كبيرة من هذه المادة الكيميائية وتركزها على ارض حديثة العهد.

في عام ١٩٦٠ قام خوان اورو^(١) (Juan Oro) من جامعة هيوستن بتسخين سائل مركز من سيانيد الامونيوم لمدة يوم واحد في درجة حرارة قدرها تسعون (٩٠) مئوية. وعندما قام بتحليل العينة فيما بعد بحثا عن منتوجات لها أهمية بيولوجية محتملة، اكتشف انه كان قد قام بتمثيل الادنين، القاعدة الميتروميكلي الرئيسية في حوامض النويك والعديد من الانزيمات المساعدة الهامة.

ظهر ان ٤-امينوايميدازول (4-aminoimidazole) (AICA) وفورماميدين (formamidine) كانا الوسيطين المحتملين . وفي تجربة تعقيية قام اورو وكيبال^(٢) (Kimball) بتسخين سائل (AICA) الى درجات حرارة تتراوح ما بين مائة ومائة واربعين (١٠٠-١٤٠) مئوية وحصلوا على بيوريتين اثنتين اخريين، غوانين وزاثنين (xanthine)، كل منهما في حصيللة بنسبة قدرها واحد ونصف بالمائة (١٥٪) . وفي تجربة اخرى مع اس اس كامات^(٣) (S.S. Kamat) افضى تسخين سيانيد الهيدروجين مضافا الى ٣ عياري هيدروكسيد الامونيوم في درجة حرارة سبعين (٧٠) مئوية لمدة خمسة وعشرين (٢٥) يوما الى انتاج الغلايسين والالانين وحامض الاسبرتيك بين المنتوجات الاخرى . وتم تأييد هذا التمثيل للادنين والحوامض الامينية من سيانيد الامونيوم من قبل سي (c.u. Lowe) وغيره^(٤) الذين اعلنوا عن تحصيل خمسة وسبعين (٧٥)

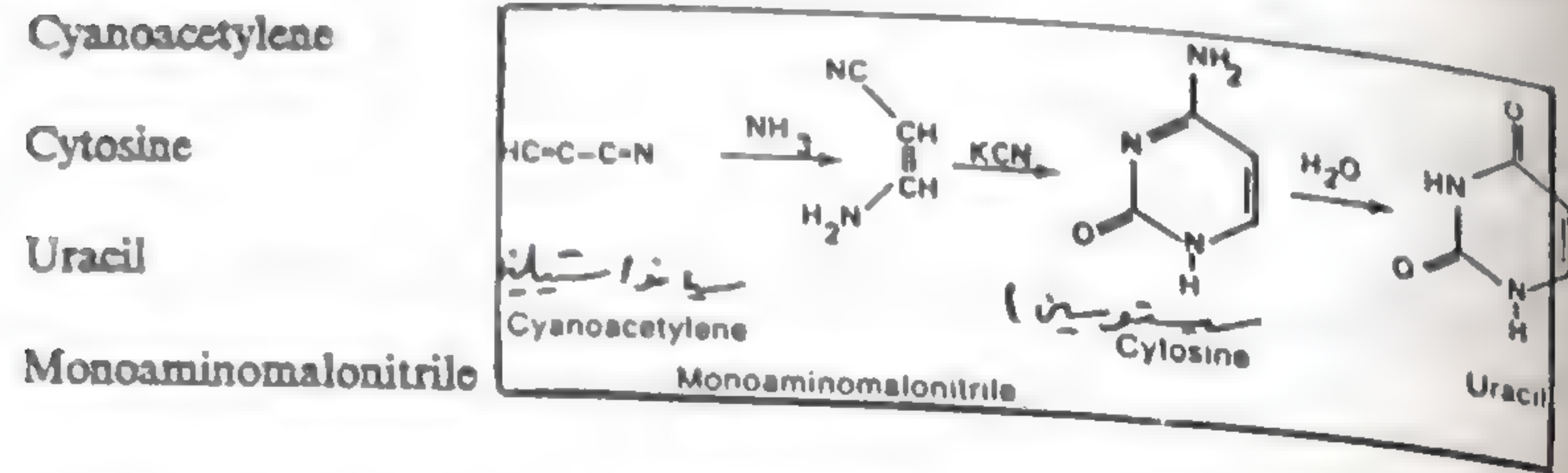
يسفر عن استحالة تترامر سيانيد الهيدروجين الى مونوامينو مالونتريل (monoaminomalonitrile) . بإمكان هذا الوسيط المهم ان يتفاعل مع سيانيد الهيدروجين اضافي ليعطي الادنين، او بإمكانه التحلؤ الى AICA الذي يمكن ان يتكاثف مع السيانيد، او الفورماميدين، او السيانونجين، لانتاج الفوانين والزاتين.

اتخذ دور سيانيد الهيدروجين اهمية مضافة في عام ١٩٧٧ عندما قام جيه بي فيريس (J.P. Ferris)، وجيه سي جوشي (Joshi) وجيه جي لوليس^(٦) (J.G. Lawless) بعزل البريميدينات من تجربة حلماة احد السيانيد (a cyanide) . جرى تعديل سائل من سيانيد الهيدروجين بقدر (١٠) مولار الى PH (٩٢) مع هيدروكسيد الامونيوم وترك في درجة حرارة لما بين اربعة الى ستة (٤-٦) شهور . وعندما اجريت آنذاك حلماة وتحليل خليط التفاعل كانت الحصلة ٤،٥-دايهيدروكسي بيريميدين (4,5-dihydroxyprimidine) و٥-هيدروكسي يوراسيل (5-hydroxyuracil)

اعطت صورة سيانيد الامونيوم واوليفومرات (oligomers) سيانيد الهيدروجين كطلائع اليورينات والبريميدينات والحوامض الامينية وحدة مرضية للكيمياء ما قبل البيولوجية. فبدلا من أن تتكون لبنات البناء البروتينية والحوامض نوويكية على حدة والتقاءها بظروف الصدفة، كان كلاهما قد تكون في نفس المكان ومن نفس المواد.

تم تحقيق تمثيل آخر للبريميدينات في تجربة افتعالية من قبل مجموعة من معهد صولك^(٧) باستعمال السيانوناستيلين وهو الوسيط الثاني الاكثر انتشارا المنتج في تجارب التفريغ الكهربائي. أعلن سانجيز (Sanchez) وآخرون ان عند تسخين تركيز من (١٠ مولار) من السيانوناستيلين في سائل من

(١٠ مولار) من سيانيد البوتاسيوم بدرجة حرارة مائة (١٠٠) مئوية لمدة يوم واحد أعطى حصلة قدرها خمسة بالمائة (٥٪) من السيوسين، وأعطى التفاعل بدرجة حرارة الغرفة لمدة سبعة (٧) ايام حصلة قدرها واحد بالمائة (١٪). ومتى ما تكون السيوسين تبعه اليوراسيل بحلماة سهلة بسيطة . (راجع معادلة التفاعل التالية).

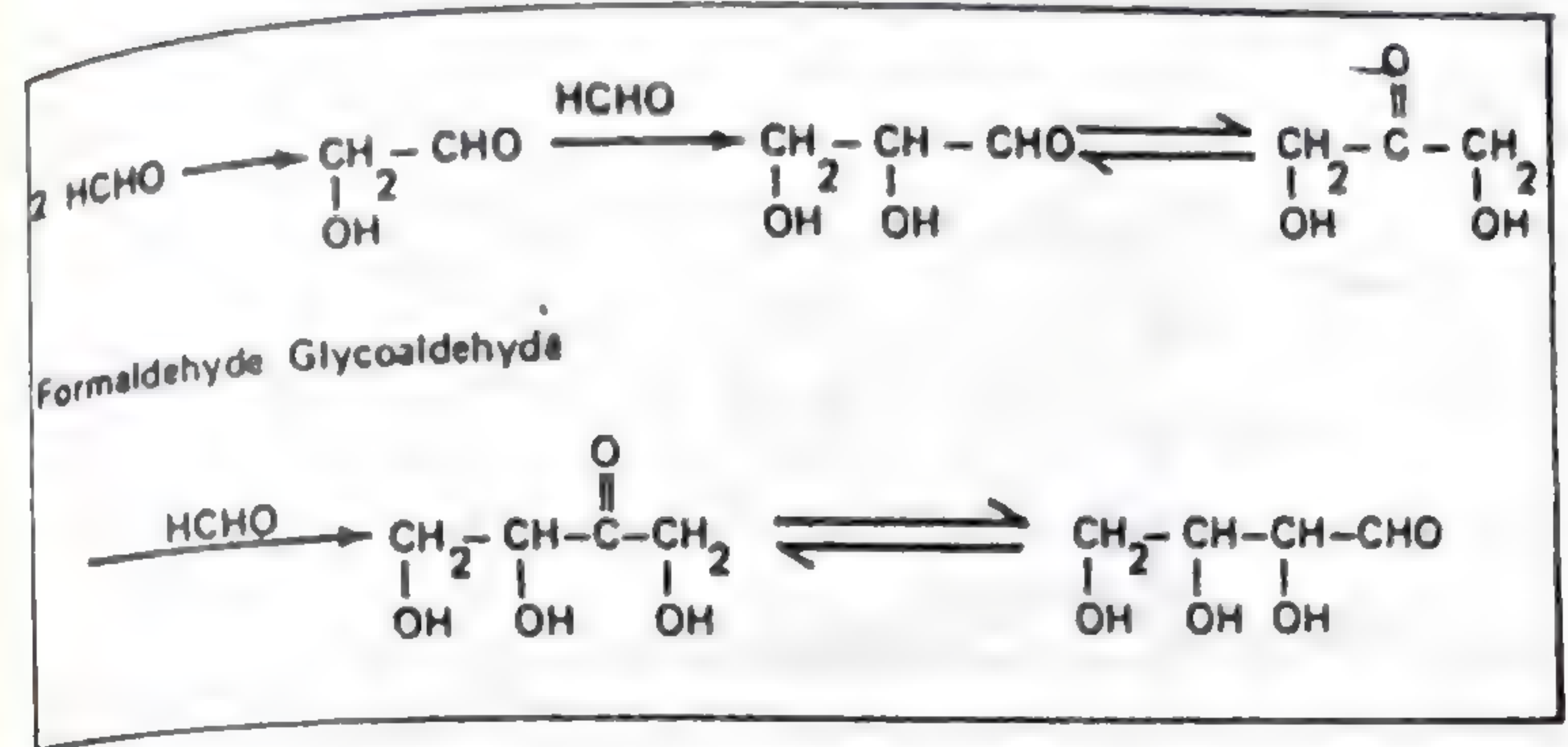


بكل وضوح كان من شأن تكون سيانيد الهيدروجين والسيانوناستيلين من غازات الارض البدائية اطلاق سيانيد الامونيوم واوليفومرات الهيدروجين، وفي الاخير الحوامض الامينية، واليورينات، والبريميديات اللازمة للبنات البنائية المهمة بيولوجيا للبروتينات وحوامض النووية. أما القواعد الهتروسيكلية فيلزم تكثفها مع سكر وحامض فوسفويك لصنع النووتيدات بللمرة حوامض النووية.

للوهلة الاولى كان التمثيل ما قبل الحيوي للسكاكر ليدو من اسهل التجارب الافتعالية للاستنباط . الفورمالديهايد هو أحد المواد العادية المكونة في التجارب لما قبل الحياتية، ومنذ عام ١٨٦١ كان بيوترولو (Buterlow) قد اوضح ان الفورمالديهايد يتعرض للتكثف في السوائل القلوية لانتاج السكاكر . وبعد تكوين الفليكوالديهايد (glycoaldehyde) تتجه عملية التمثيل الى السكاكر الاعلى، كالتروز والبتوز والهكسوز، بما فيها الريبوز والغلوكوز

رباعوز = tetrose ، خماسوز = pentose ، سداسوز = hexose ، سداسوز ،

(glucose, ribose) •



مهما كان تكثف الفورمالديهايد يبدو محتملا لتمثيل السكاكر في ما قبل الحياة، فانه توجد اعتراضات كيميائية خطيرة . ان التفاعل يقع فقط في تركيزات اعظم من (١٠ر) مولور ، مع ان السكاكر المونومرية غير مستقرة

في الماء ، لاسيما اذا كان pH دون (٧) بكثير . ومشكلة أخرى هي ان السكاكر تفاعل مع الحوامض الامينية بتفاعل ميلارد (Maillard) المتقزم (browning) لتشكيل منتجات لايولوجية . ولما كان يلزم الافتراض ان الترتيبية الابطس لنشأة الحياة هي حيث كانت جميع المكونات البادئة قد تكونت وتواجدت معا بنفس الوقت . فانه يتوجب الاخذ في الاعتبار التفاعلات التي كانت ستولد منتجات خاملة . يبدو ان هذا يكفي لاستثناء السكاكر ، انما في الواقع يوجد سكر، فقط حيوي الضرورة للتجميع الابتدائي لخلية وظيفية ، وهما الريبوز والديوكسي ريبوز، المكونات الجوهرية للنووتيدات . بهذا الصفة تزول المشاكل الكيميائية مع السكاكر ، فان الريبوز مربوط بشكل

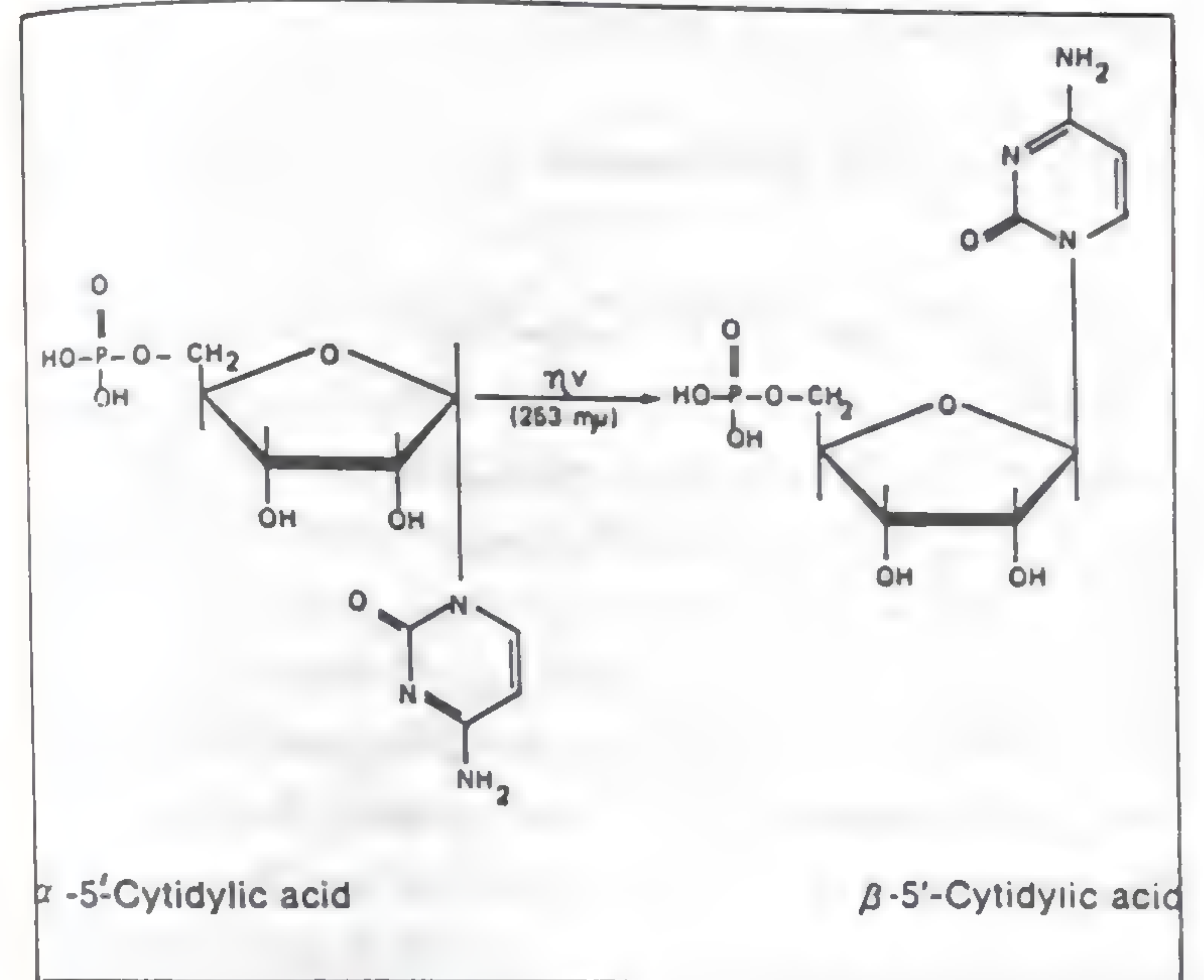
يكف عن امتلاكه اللاستقرارية الفطرية للسكاكر .

قام اورو وائي سي كوكس^(٨) (A.C. COX) بتحري احوال ملائمة حيث كان يمكن ان يتكون الريبوز والديوكسي ريبوز على الارض البدائية . ووجدا ان المحاليل المائية للاستالديهايد (CH_3CHO) مع الفورمالديهايد (HCHO) ، او الغليسريدالديهايد ($\text{CH}_2\text{OH-CHOH-CHO}$) محفزة بأوكسيد الكلسيوم في درجة حرارة خمسين (٥٥) مئوية اعطت حصيلة قدرها ثلاثة بالمائة (٣٪) من الديوكسي ريبوز، وثبت ان هيدروكسيد الامونيوم محفز اكثر فعالية .

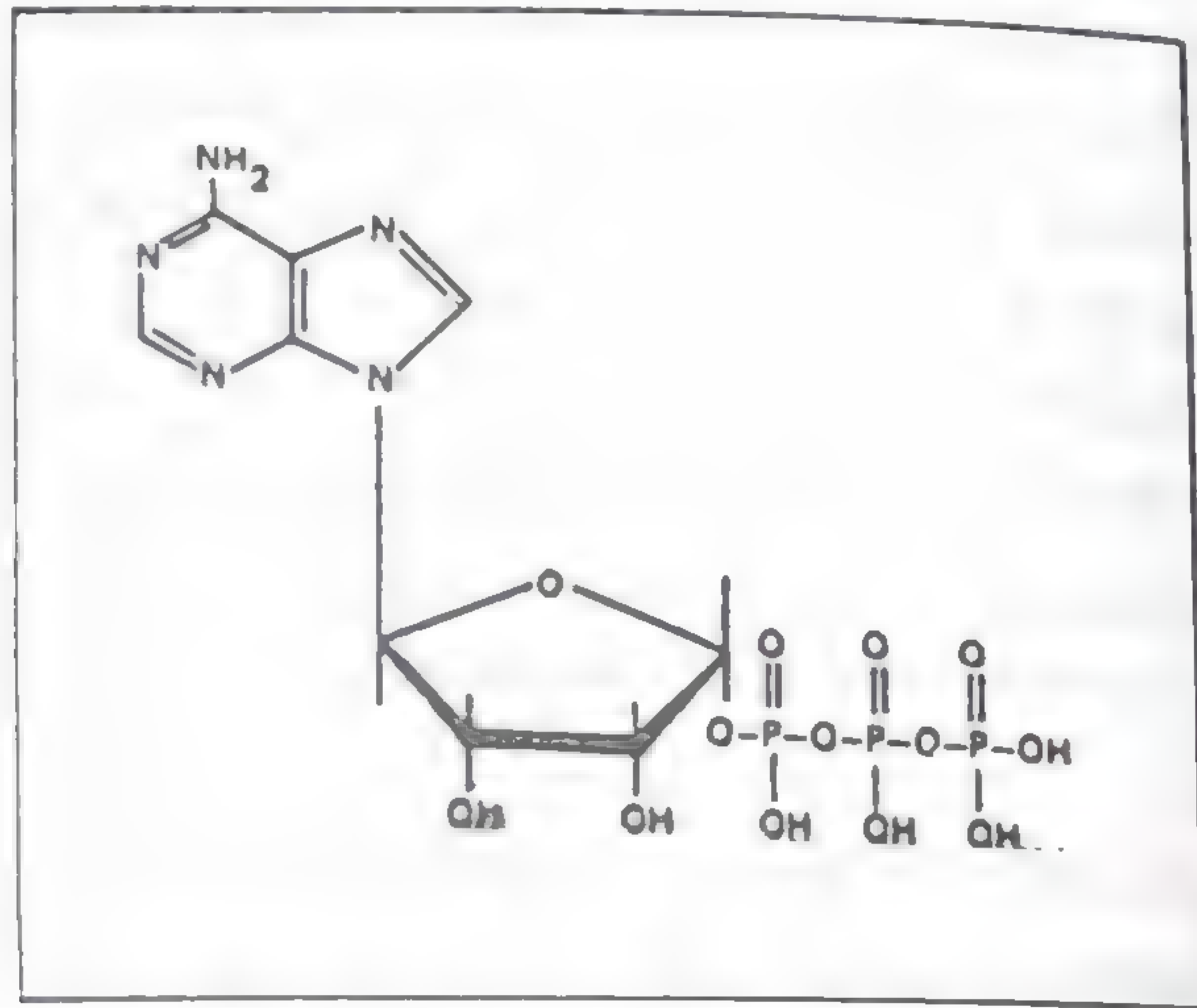
ان توليد الفورمالديهايد والاستالديهايد بالتفاعلات على الجو البدائي كان سيستلزم تواجد غازات الهيدروكربون، ولما كان تواجد الهيدروكربونات في بعض الصخور النارية والنيازك يوحي الى تواجد ما قبل البيولوجي للميثان ونظائره، فانه يتوخى ما يدعو الى الاعتقاد ان طلائع الالديهايد والحوامض الدهنية كانت موجودة .

يتم ربط الادلين بالديوكسي ريبوز لتشكيل الديوكسي ادنوسين بسهولة، وعندما ترك المتفاعلان معا في درجة حرارة الديوكسي ادنوسين تكون حاصل قدره واحد بالمائة (١٪) من الديوكسي ادنوسين^(٩) . وبحضور الفوسفات ارتفع الحاصل الى خمسة بالمائة (٥٪)، وعندما جرى استخدام الضوء ما فوق البنفسجي مع السيانييد ازداد الحاصل الى سبعة بالمائة (٧٪) . من المؤسف ان القواعد الاخرى لم تنتج نووتيداتها بهذا التفاعل ، انما كان بالامكان تكوين هذه بوسائل أخرى . على سبيل المثال ، يعمل خليط من املاح البحر كمحفز فعال لتكوين النووسيدات (nucleosides) عند تسخين البيورينات مع الريبوز، ويعطي حصائل تتراوح ما بين واحد ونصف واربعة نصف بالمائة (١٠) (٥١-٤٥ر) .

ألا ان هذه الطريقة ليست ناجحة بالنسبة الى البريميدينات . رغم ان نووسيدات البريميدين لا تتكون من الاتحاد المباشر للقاعدة مع الريبوز، فانه من المعقول أن تكون قد نشأت اقل مباشرة . عند موازنة ريبوز-5-فوسفات مع الامونيا لتكوين الريبوسيلامين (ribosylamine) ومن ثم معالجته بنجاح بالسيانوجين والسيانواثيلين ، كان الناتج الرئيس حامض الالفاسيتديليك (α-cytidylic acid) . غير ان هذا الشكل البيولوجي هو ايسومر البيتا (β isomer) . ان ضوء الشمس، الذي تم ادخاله في معظم تجارب الافتعال، يلعب دورا حاسما هنا . عندما جرى تعريف حامض الفاسيتديليك للضوء ما فوق البنفسجي، تم تحويل ما يبلغ عشرة بالمائة (١٠٪) الى حامض بيتا ستيديليك، وهو الايسومر الذي تستخدمه المنظومات البيولوجية (١١) .



للانتقال من النووسيد الى النووتيد يستلزم الفسفرة او ربط مجموعة من حامض الفوسفوريك بحصة السكر . هذه الخطوة شديدة الصلة بالمشكلة العمومية للتكوين ما قبل البيولوجي لمشتقات الفوسفات . ان المركب الذي عادة ينقل الطاقة الكيميائية في المنظومات البيولوجية هو الأتب، أي ثلاثي فوسفات الادنوسين، والطاقة من حلقة رابط البيروفوسفات بتجريد الأتب الى أدب، ثنائي فوسفات الادنوسين، هي التي تفرم التفاعل في عمليات التمثيل البيوكيميائية . كانت البيروفوسفات جوهرية الضرورة منذ البداية ، والات يملك الاستقرار والتفاعلية اللتين تجعلانه في غاية الصلاحية للمهمة



الشكل ١/١٨ - بنية ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP اتب) .
لما كانت حوامض النوويك هي بوليمرات من النووتيدات مرتبطة بواسطة المجموعة الفوسفاتية من مجموعات سكارها في ترابط اسهامي قوامه (3'-5'-linkage) ، فلا بد انه تواجدت على الارض البدائية وسيلة

ما قبل بيولوجية ملكت القدرة على فسفرة النوسيدات، فإذا توفر ما يبرر تواجد جيولوجي لهامض الفوسفوريك ومشتقاته فإنه لن تواجه أية صعوبة في إقامة التجربة الافتعالية . عند اذابة النوسيدات في حامض البولي فوسفوريك في درجة حرارة ما بين صفر الى ٢٢ (٠-٢٢°) مئوية ، نحصل على ناتج يتراوح ما بين (٢٥) الى (٤٥) بالمائة من المونوفوسفات^(١٢) . لكن حصول حامض البولي فوسفوريك في الاحوال الجيولوجية مستبعد جدا ويتمذر معه اعتباره جوابا شافيا .

ان الصعوبة مع الفوسفور هي شدة عدم ذوبان املاحه الكلسيومية ، أي الاباتيت ، ولما كان الكلسيوم يفوق غزارة الفوسفور في البازلت بزهاء عشرين ضعفا (عشرة أضعاف في الغرائيت) فإنه بالامكان ازالة الفوسفور من مياه البحر بكل فعالية، وذلك بترسيب املاح الكلسيوم . من جهة أخرى ان الفوسفور ليس عنصرا نادرا ويؤلف ما مقداره (٠.٦) بالمائة من المحتوى الفلزي للصخور النارية^(١٣) . وبالرغم من امكانية تكون الهيدروكسي اباتيت (hydroxyapatite) في ترسيب الفوسفور من المحاليل المائية النقية ، فإنه بيئة بحرية يترسب بصفة فلورواباتيت الكربونات (carbonate fluoroapatite) بالنتيجة ، يبقى تركيز الفوسفور في مياه البحر منخفضا للغاية بمستوى (٢٢) ميكرومولار .

المشكلة هي اذن ايجاد الظروف المناسبة مع الارض البدائية امكن فيها توفر الفوسفور للاندماج في المركبات العضوية ، أي اقامة الامثلة الايضاحية لشكل كيميائي من هذا العنصر ملك المقدرة على اتيان التفاعلات التفسيرية . وقد تمكن ستانلي ميلر وپاريس^(١٤) (M. Parris) من انتاج البيروفوسفات على سطح الهيدروكسي اباتيت باملاح السيلانات . وبما ان بيروفوسفات الكلسيوم مقاوم للذوبان مثلما هو الاباتيت ، فإن اية عملية تمثيل حصلت

كان سيترب حصولها على السطح البلوري . وهذا امر يمكن تصوره ، ولكنه ليس مقنعا حقا، ويبدو ان شكلا آخر من الفوسفات له قابلية ذوبان اكثر مع ظهور الخلية الوظيفية سيكون اكثر عقلانية .

طرح الان شفارتس^(١٥) (Alan Schwartz) من جامعة نيميغن (Nijmegen) بهولندا ، طريقة كان يمكن جعل الفوسفات بها قابلا للذوبان ومركزا ضمن مستوى وظيفي . ان حامض الاوكساليك (oxalic acid) عامل شديد التشبيك (complexing) للكلسيوم . فاذا بلغ هذا الحامض، الذي كان يمكننا تكمته من تفسخ الغلايسين او حامض النمليك او بتحلل السيانوجين ، تركيزا قدره (٠.٠١) مولار في (٥) (PH5) بلامسة الاباتيت ، فإنه سيحرر الفوسفات بقدر (٠.٠٠٣) مولار ، وهذا مقدار كبير نسبيا من الفوسفات في المحلول . يرى شفارتس انه كان بإمكان السيانوجين كغاز قابل للذوبان في الماء ومتواجد في الزمن ما قبل البيولوجي ان يوفر امدادا متواصلا من الاوكسالات (oxalate) في كل سطح صخرى معرض للتعرية ، وان مشتقات حامض الفوسفوريك كانت لتكون متوفرة من خلال هذه الوسيلة .

متى ما امكن التغلب على صعوبة اثبات التواجد الجيولوجي لاملاح حامض الفوسفوريك، فإنه توجد تفاعلات تفسيرية معلومات كان حصولها ممكنا . عند رفع درجة حرارة تسخين نوسيدة من (٥٠) مئوية الى (١٦٠) مئوية مع عدد من مركبات فوسفات الهيدروجين، يسفر هذا عن حصول المونونوتيد^(١٦) (mononucleotide) . لكن تفسيرا اكثر فعالية يحصل مع اليوريا . فعند تسخين النوسيدات الى درجة حرارة (١٠٠) مئوية في خليط يابس من اليوريا ، يتم تحويل فوسفات هيدروجين الصوديوم وكلوريد الامونيوم وبيكاربونات الامونيوم الى مشتقات فسفرة بمقادير تتجاوز تسعين بالمائة (٩٠/١٠٠)^(١٧) .

لقد ظهرت اليوريا كناتج في أغلب التجارب الافتعالية للاحوال ما قبل

الحيوية وليس انها كانت منتشرة بكثرة على الارض البدائية ، ولا بد انها كانت موجودة في كل سواحل سيانيد الامونيوم المكشوفة لان الاشعاع ما فوق البنفسجي يحفز تحويل سيانيد الامونيوم الى اليوريا . وعند اجراء المزيد من الدراسات على تفاعلات التفسر المخزنة باليوريا اكتشف ايل اوستربيرغ (L. Osterberg) وايل اي اورجيل (L. E. Orgel) وآر. لورمان (R. Lohrman) ان عندما تتجاوز الفوسفات النووسيدات في الخليط يؤدي ذلك الى تكوين اربطة البيروفوسفات . وقد اسفر التسخين لمدة اربعة ايام بدرجة حرارة (١٠٠°) مثوية عن حصول ناتج قدره (١٥) بالمائة من ثلاثي فوسفات الثايمدين .

اذن يبدو ان ثلاثي فوسفات النووسيد ظهرت في الزمن ما قبل البيولوجي في ظروف جيولوجية معقولة في الظاهر . ان الشرط الجوهري لذلك كان تواجد الفوسفات كاملاحا الحامضية . ولكي تتصور كيف امكن ان يحصل هذا يتحتم علينا العودة الى الوسط القائم لاقدام المتعضيات المجهرية على الارض .

تتألف صخور مسلسل اتفرواكت التي تقع فيها الاحافير المجهرية من احجار صوانية او ظرائية خام فوق صخور بركانية دون مائة بارزة . ورغم ان الاحجار الصوانية موجودة في مسعات افقية ، فانها في الغالب تحصل كجيوب في سطح اللابا العتيقة . ان ما حصل آنذاك هو لربما نفس ما يحصل اليوم في العديد من هذه البوارز ، والماء الحديث العهد المتدفق الى السطح اما بفعل الاندلاعات البركانية او الانبثاقات النافورية غني للغاية بالمغذيات ، فهو منعم بثاني اوكسيد الكربون وفلزات الفوسفور والكبريت والنيروجين الجوهريّة الضرورية . ربما ان درجة حرارة البراكين العالية تحرر الفوسفور من الفلزات في الصخور النارية وترفعه الى السطح كاملاح حامضية

قابلة للذوبان فتقوم باغناء مياه البحيرات البركانية . وتفس الظاهرة تبدو بجلاء اليوم حيث غالبا ما تنمو الاحياء المجهرية للغدران البركانية بفزارة شديدة وتشكل طبقات قشرية تتسع حتى تغطي في النهاية اسطح هذه الغدران بأكملها . وعندما تكون البحيرات كبيرة مثل بحيرة وائمونفو بنيوزيلندة يؤدي هذا النمو الى تكون طبقات قشرية عند الحواف وتمتد على مسافات شاسعة نحو وسط البحيرة (١٩) . ومن الممكن تماما ان تكون الحياة قد بدأت على الارض قبل اكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة خلت ليس في بحر ذي قوام «الحساء البدائي» وانما في الغدران البركانية الغنية بالفوسفور والكبريت التي كانت منتشرة على سطح الارض اثناء الدهر الاركي .

الفصل التاسع عشر - الهضميتيدات

جاء اكتشاف الطريقة التي تمكنت الحوامض الأمينية والنووتيدات بها من التكون على الأرض البدائية ليلاً الفجوة القائمة بين الجيولوجيا اللاعضوية وبين الوحدات العضوية الأساسية للمنظومات البيولوجية . لكن بعد اجتياز هذه العقبة نجد انفسنا على مشارف هوة سحيقة أخرى قبل أن تمكن من تشييد مثال يصور لنا الاصول الكيميائية للحياة . لا توجد اية صفة للحياة في الحوامض الأمينية والنووتيدات ، ولا تأتي المنظومة الحية من اللبنة البنائية ، بل من التفاعل المتسق ليوبوليراتنا، وجملة العلاقة بين الحوامض النوويك والانزيمات هي التي تشكل أساس البيولوجيا.

وهنا بالذات تكمن المشكلة . ففي المتعضيات ، كما نعرفها تقوم الانزيمات بتحفيز جميع التفاعلات البيوكيميائية ، بما فيها التفاعلات التي تنفي الى تمثيل حوامض النوويك والانزيمات بذاتها . فاذا كانت الانزيمات معاً، وكلاهما مطاوب لصنع الانزيمات، من أين اذن جاءت الانزيمات باديء ذي بدء؟

مثلما كانت النظرة في الخمسينات من هذا القرن تشدد التوكيد على الحوامض الأمينية بصفقتها اللبنة البنائية الأكثر أهمية ، كذلك ايضاً يبدو انه ظهر توكيد على ايجاد منشأ لا حيوي للبروتينات ، وبالتالي للانزيمات، بناء على الاعتقاد السائد ان متى ما تكونت الانزيمات يصبح معها تمثيل جميع المكونات الأخرى ممكناً . ربما كان أقرب الى الذهن التفكير بالظهور اللاحيوي لبولي هضميتيدة ذات خواص انزيمية مما هو تصور تكون جينة خارج منظومة بيولوجية، وهي التي يمكنها أن تحصل في المتعضيات المعاصرة بوزن جزئي يعد بالملايين . انما يبدو محتملاً ان الاهتمام الموجه الى البروتينات

نعم من حقيقة كون الخبراء البيوكيميائيين اعرف بالحوامض الامينية والكيمياء
الراسخة المقررة بلمرتتها الى بولي هضيتيدات في المختبر.

كان الكيميائيون يحاولون بلمرة الحوامض الامينية بتسخينها منذ
ما قبل قيام أف هوفمايستر^(١) (F. Hofmeister) اي فيشر^(٢) (E. Fischer)
بتثبيت الطبيعة البولي اميدية (Polyamide) للبروتينات . في عام ١٨٩٧ قام
هيوغو شيف (Hugo Schiff) بتكثيف حامض الاسبرتيك في درجات حرارة
ما بين (١٩٠، ٢٠٠° مئوية، وبعد ذلك بثلاث سنوات قام ايل باليانو
(L. Balbiano) ودي تراشياني (D. Trasciatti) باعداد البولي غلايسين من
تسخين الحامض الاميني في الغليسرول ، وعند تسخين الغلايسين بدون مذيب
تتج عنه خليط من الهضيتيدات وانهايدرات الغلايسين^(٥) . لكن يقينا ان
عملية البلمرة الحرارية الاكثر نجاحا للحوامض الامينية كانت تلك التي قام
بها والاس كاروذرز (Wallace Carothers) في عام ١٩٣٦ اثناء اشتغاله بشركة
دوبون (Dupont) حين قام بتسخين حوامض اوميغا الامينية
(omega-amino acids) التي تقع المجموعة الامينية فيها على ذرة الكربون
الابعد من نهاية الكربوكسيل، وحصل على بوليمر البولي اميد
(polyamide polymer) الذي أصبح فيما بعد معروفا باسم نايلون^(٦) (Nylon)

ان تفاعل البلمرة هو خطوة تجفيفية او نزع الماء (dehydration)
وهي عكس الحلمة (hydrolysis) . ومعنى هذا هو انه يلزم ازالة جزيئة من
الماء لكل ترابط اسهامي (linkage) هضيتيدي يتكون عند تكثيف
الحوامض الامينية . وعليه فان السبيل المنطقي الى انجاز البلمرة هو ايجاد
أحوال تجفيفية او نزعائية مطابقة . أما الرأي الكثير الشيوع بأن جزيئات
ضخمة تكونت من تكثف المونومرات في زمن ما قبل البيولوجي في أحد
البحار البدائية فهو غاية من السذاجة لأنه لا يأخذ في الحساب الاحتياج

الديناحراري (thermodynamic) أو الثرمودينامي البالغ ١٦-٨ كج/م لتكوين
الرابط الهضيتيدي . ان حقيقة نشوء ونمو التعضيات في البحار لا يعني
بالضرورة ان جوهريات الخلية الوظيفية الاولى تكونت هناك .

من أقدم المحاولات لاكتشاف الاصل ما قبل البيولوجي للانزيمات او
بوليمرات الحوامض الامينية شبه الانزيمات كانت تلك التي قام بها سيدني
فوكس (Sydney Fox) حاليا بجامعة ميامي . في ورقة اعدها بالاشتراك مع
ام ميدلبروك^(٧) (M. Middlebrook) تم تقديمها الى الجمعية الامريكية
للكيمياء البيولوجيين في عام ١٩٥٤ أعلن فوكس ان تسخين بعض الحوامض
الامينية بدرجة حرارة (٢٠٠°) مئوية لمدة نصف ساعة الى ثلاث
ساعات اسفر عن انتاج البوليمرات اللامائية (anhydropolymers) ، وقام
بمقارنة نتائج هذه التكتيفات بورقة سابقة له تتضمن وصفا لاتقائية الحوامض
الامينية، أي جنوحها الى الاقتران ببعضها في تكثيف انزيمي التحفيز^(٨) .

ثم في عام ١٩٥٩ أعلن اس دبليو فوكس (S.W. Fox) وكيه هارادا
K. Harada وأي فيغونسكي^(٩) (A. Vegotsky) عن البلمرة الحرارية
للحوامض الامينية في ورقة يؤيد فيها نظرية تفيد ان التمثيل الحراري
للبيوكيميائيات سبق نشأة الحياة في تطور ما قبل البيولوجي يشبه ممالك
التمثيل الحيوي . على سبيل المثال ، عند تسخين حامض التفاحيك (malic acid)
مع اليوريا او الامونيا ، يسفر عن ذلك عن حامض الاسبرتيك^(١٠) ، وبدوره
يمكن تجريد حامض الاسبرتيك الى ألانين الفا او بيتا (a-or B-alanine)
زيادة ذلك، تفاعل حامض الاسبرتيك مع اليوريا بوجود الكلسيوم أو
هيدروكسيد المغنسيوم لينتج عنه حامض اليوريدوسكسينيك
ureidosuccinic acid وهو وسيط في التمثيل الحيوي biosynthesis
لبريسيدينات . وقد كانوا يولدون بتسخين ملح احد الحوامض من دورة كريس

(Krebs cycle) منتحات تتكون بيوجينيا (biogenetically) بطريقة مماثلة . كانت فرضية مثيرة للاهتمام لكن التناظر التامسي انطبق فقط على بضع بنى بسيطة ولم تشمل طرائق التشيل الحيوي بكليتها.

كان البيوكيميائيون يعلمون ان تسخين خليط من الحوامض الامينية بالنسب الموجودة في البروتينات يؤدي الى التحلل الحراري ينتج عنه قار اسمر قاتم ذو رائحة كريهة . وبما ان حامض الاسبرتيك يتبلر بسرعة بالتسخين انما حامض الغلوتاميك لا يفعل ذلك الا بمجهود ، فقد اكتشف فوكس وهارادا ان خلط وتسخين حامض الغلوتاميك مع حامض الاسبرتيك ادى الى بلمرتها معا . غير انه باستثناء الغلايسين لا تشكل الحوامض الامينية المحايدة بوليمرات مماثلة بسبب العائق الحيزي، أي ترتيب الذرات في الجزئية . لكن عند استخدام خليط من الحوامض الامينية اقله من حامض الاسبرتيك والغلوتاميك مع خليط متساوي الجزيئي الغرامي (equimolar) من الحوامض الامينية الستة عشر الاخرى بنسبة (١:٢:٢) تمكن فوكس وهارادا من تسخين خليط من الحوامض الامينية لحد ماء (ديلزة = Dialysis الفرز بالانتشار الغشائي).

أعلن عن هذه الطريقة في عام ١٩٥٨ بوصفها البلمرة الحرارية للحوامض الامينية الى ناتج يشبه البروتين^(١١) . لقد نتج عن تسخين خليط من الحوامض الامينية يتضمن ثمانين بالمائة (٨٠٪) حامض الاسبرتيك والغلوتاميك في مغطس زيتي (oil bath) بدرجة حرارة (١٧٠°) مئوية لمدة ثلاث ساعات عن منتج شبه الزجاج . بعد اذابة هذه المادة في الماء، وفرزها غشائيا ، وتجفيفها بالتجميد ، أعطى تحليل المسحوق البني الناتج وزنا متوسط السلسلة mean chain weight = وهو وزن جزيئي قدره (٤٩٠٠) يتضمن (٧١٪) حامض الاسبرتيك و(١٥٪) حامض الغلوتاميك و(١٤٪) من جميع الحوامض

الامينية الاخرى مجتمعة . ومن تحليل الحوامض الامينية العيارية الطرف (N-terminal) تم الاستنتاج ان البوليمر تضمن ترتيبا لا عشوائيا من المونومرات .

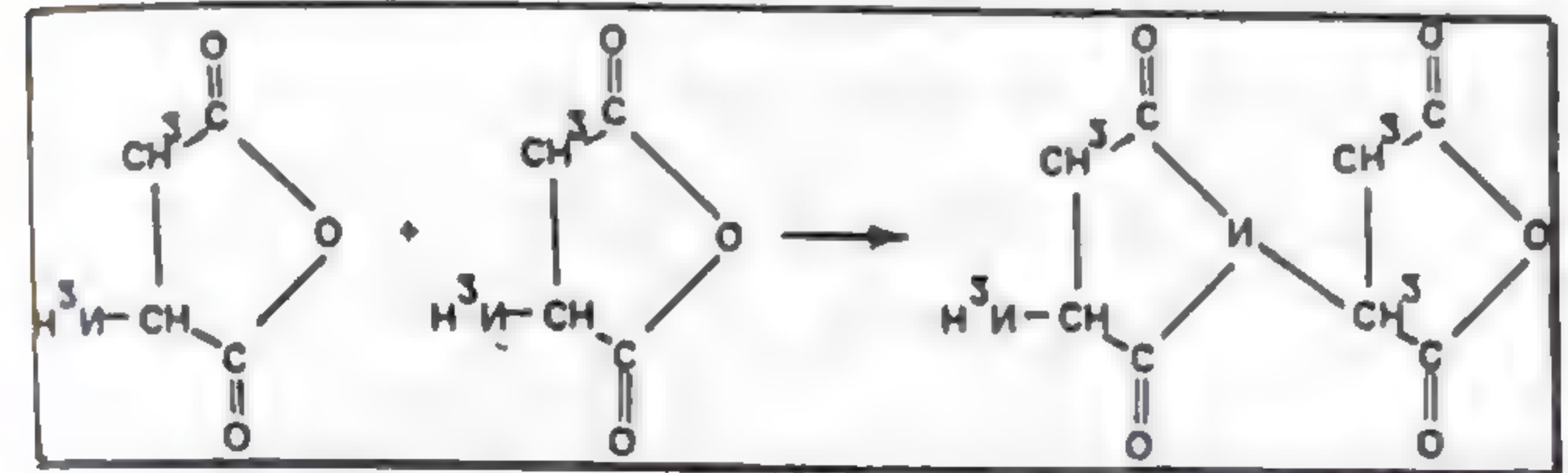
لقيت فكرة امكان عمل بوليمرا يشبه البروتين بتسخين تناسب صحيح من الحوامض الامينية اهتماما كبيرا خلال السنوات الستينية من هذا القرن وجرى نشر عدد كبير من الاوراق تحاول اقامة علاقة تناظرية بين العديد من الخواص المادية والكيميائية للبروتينات وبين هذه البوليمرات الحرارية^(١٢) . كانت أغلب المقارنات للخواص اللاحقة كاختبارات اللون او التحليلات المنصرية الناشئة عن الحوامض الامينية او الروابط الاسهامية الهضمية القصيرة . من جهة اخرى اخفقت هذه البوليمرات الحرارية في ابداء أي تجاوب حصين عند اختبارها لتوليد التضادية^(١٣) (antigenicity) وهو اختبار حساس للغاية للبنية البروتينية .

أطلق فوكس اسم شبه البروتين (protenoid) على البوليمرات الحرارية هذه، وحاجج على انها تتضمن جميع الثمانية عشر حامضا امينيا الموجودة في البروتينات (باستثناء الغلوتاميك والاسبرتيك) ، وجرى تمديد اصناف شبه البروتين الى القاعدية منها التي كانت في الاغلب ليسين (lysine) وهو حامض اميني يمكنه ايضا أن يكون بوليمرا متجانسا (homopolymer) وجد مسلسل من الخواص التحفيزية الضعيفة للغاية في بوليمرات حرارية مختلفة اعتبرت انشطة شبه انزيمية^(١٤) .

وبسبب لا تجانسيتها، تعذر الثبوت من الترتيب للحوامض الامينية في هذه البوليمرات الحرارية بالتسويق ، على غرار الاسلوب المتبع اعتياديا مع الهضمات الطبيعية . بالنتيجة ، كان قسط كبير من تفسير فوكس بخصوص البنية موحها لبيان تواجد لا تجانسية محدودة، ولا عشوائية، أي ان

الحوامض الامينية عند تسخينها معا تتكثف مع درجة من الانتقائية الجانحة الى شاكلتها لتكوين سياقات تشبه تلك الموجودة في البروتينات. غير ان انعدام العشوائية واختلاف نسب الحوامض الامينية في بوليمر حراري ليسا دليلا بالمرّة على أن ترتيب الحوامض الامينية تشبه البروتينات. كما توجد تفسيرات اكثر بساطة متشعبة مع السلوك الكيميائي .

ان حامض الاسبرتيك ، كيميائيا، هو المشتق الاميني من حامض السكسينيك^(١٥)، وهو يتبلر بسرعة عند التسخين لأن بإمكانه تكوين انهايدريد يتفاعل بعد ذلك مع أية مجموعة امينية متوفرة بما فيها تلك في حوامض الاسبرتيك الأخرى تستمر البلورة فور ابتدائها الى أن تستند حامض الاسبرتيك المتوفر أو تنتهي بحامض اميني محايد يعجز عند تمديد أو مواصلة العملية.



تمكن فوكس باستخدام خلاط من الحوامض الامينية تتألف في معظمها من حامض الاسبرتيك او الليسين (Lysine)، وهما حامضان امينيان يتبلران بسهولة الى بوليمرات متجانسة ، من الحصول على بلورة هذه الحوامض الامينية مع مقادير صغيرة من الاخرى مندمجة بها. يمكن بلوغ الاوزان الجزيئية العالية المنسوبة الى البروتويدات أو اشباه البروتين فقط اذا كان

البوليمر في الجوهر من حامض البولي اسبرتيك أو البولي ليسين . ومن بين سمات هذا التفاعل كانت النسبة الاكبر من الحوامض الامينية المحايدة ، ومعدل الوزن الجزيئي المنخفض للناتج، وهو دليل واضح على ان هذه الحوامض الامينية انتهت العملية بالتفاعل معا عند عجزها عن مواصلة البلورة.

للهذه الاولى يبدو التحليل بالحوامض الامينية لهذه البوليمرات شيئا بتحليل بروتين قياسي مع النسب المثوية المولية أو الجزيئي غرامية لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر مدرجة في جدول . أما الوهم في تفسير هذا التحليل فانه كمن في اعتبار الاوزان الجزيئية لهذه البوليمرات الحرارية فقط ما بين (٤٠٠٠) الى (٥٠٠٠) . انما بوزن جزيئي قدره (٤٥٠٠) ابيان التحليل ان البوليمر تضمن اثنين وعشرين (٢٢) من حوامض الاسبرتيك ، وثلاثة حوامض غلوتاميك وثمانية من الاخرى^(١٦). أما عندما كان الوزن الجزيئي (٤٩٠٠) فتبين ان التركيبة تضمنت (٢٦) حامضا اسبرتيك، وثمانية غلوتاميك، و(٧) من الاخرى . ومعنى هذا هو انه بالرغم من ان ناتج التحليل تضمن جميع الحوامض الامينية الثمانية عشر (١٨) لم يتسع أي من البوليمرين لاحتواء اكثر من سبعة او ثمانية من الحوامض الامينية الستة عشر الاخرى اضافة الى حامضي الاسبرتيك والغلوتاميك في جزيئة واحدة . تحلل العديد من الحوامض الامينية من قبيل التيروسين أو الفيل الانين بنسبة مثوية بطيئة لدرجة استدعت كون الوزن الجزيئي للبوليمر الحراري أكبر بثلاثة أو اربعة اضعاف ليتضمن حتى مجرد فضلة واحدة. كان واضحا ان النتائج لم تتضمن ما يشير الى التبلر التزامني لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر في نفس البوليمر ، ثم من حيث التعريف لم تكن البوليمرات الحرارية حتى اشباه بروتين.

قلما يمكن ان يتسرب أي شك الى انه لا يمكن افتعال التمثيل البيولوجي

للبروتينات بمجرد تسخين خليط لا متجانس من الحوامض الامينية ، فالمساق الحيوي سيحول دون تفاعل الحوامض الامينية ذات السلاسل الجانبية المنافرة للماء في التفاعلات الحرارية ما عدا في المواضع الطرفية . وبالنسبة لا يفعل ذلك الا الحوامض الامينية المعروفة بسهولة تبلرها . اما البروتينويدات او اشباه البروتينات فقد كانت خلافا من حامض البولي اسبرتيك أو البولي ليسين منشورة بحوامض الغلوتاميك والغلوسينات وبطرف حوامض امينية محايدة ، وتمديد التسخين او رفع درجات الحرارة أدى الى زيادة عدد الحوامض الامينية المحايدة المدمجة ، وهذا مطابق مع الرابط الايميدي (imide bond) لحامض الاسبرتيك المكثف المتفاعل مع هذه الحوامض الامينية ، مضافا اياها الى السلسلة الجانبية . كانت البلورة المتزامنة لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر مبنية على التحليل الحامضي الاميني للنتائج الذي ابان ان جميعها موجودة لحد ما . انما هذا لا يشير الى السياق بشيء . عند تسخين حامض بولي اسبرتيك في خليط مماثل من الحوامض الامينية يعطي البوليمر الناتج ايضا تحليلا لجميع الحوامض الامينية بنفس الطريقة كذلك الخاصة بما يسمى بالاشباه بروتينات^(١٧).

اعطت تجربة ميلر حوامض امينية لانه تم غسل المنتجات المتكونة بالتفريغ الكهربائي في قارورة إعادة التسييل حيث تحللت بسرعة . أدى هذا الى إعادة اسقاط المواد الوسيطة خلف الحاجز الديناحراري للتبلر التلقائي واقامة الحاجة الى تفاعل تكثفي يستلزم الطاقة لاتاج هضميتيدة، وبدلا من محاولة استحثاث المناطق اللامائية او درجات الحرارة العالية لاعادة المواد المكثفة الى وضعها، قام بعض الباحثين بتقصي أساليب لاستحصال البولي هضميتيدات بطريقة مباشرة اكثر.

قد يمكن الجواب على تكون الهضميتيدات في تجربة ميلر بذاتها. تم

عزل الهضميتيدات والحوامض الامينية ايضا من المحلول في تجربة الحرارة التي اُبتت درجة حرارة الماء فيها على (٤٠°) مئوية^(١٨). أما عند اقامة التجربة في درجة حرارة الغرفة فلم يتم اكتشاف الحوامض الامينية الا بعد حلالة الفضلة الصلبة المستعادة بعد تبخير السائل^(١٩). كان ساغان وخاره^(٢٠) ايضا قد لاحظا هذه الظاهرة لدرجة الحرارة في دراساتها للضوء كيميائية (photochemical) حيث تم الحصول على صواب تقبل الحلالة الى حوامض امينية دون درجة الحرارة (٥٠°) مئوية. يبدو ان هذه النتائج تشير بكل وضوح الى ان الحوامض الامينية لا تكون مباشرة في التفاعل وانما تنتج فقط من خلال حلالة ملائمتها.

وعليه فان ملاحظات الحوامض الامينية تواجدت في شكل مكثف اسفر عن الحوامض الامينية عند التحلؤ. يتبلر سيانيد الهيدروجين في السوائل القاعدية ليعطي خليطا يشمل الترامر (di-aminomalonitrile) وبنتامر (ادين) وملاحظات حوامض امينية بوليمرية وصواب سوداء جموحة يصعب تحديدها يعتقد انها أدت الى التحام البنى الترايهدروبيريدينية (tetrahydropyridine) قام كليفورد ماثيوز (Clifford Mathews) وروبرت موزر^(٢١) (Robert Moser) بعزل صواب شبه هضميتيدية من خليط التفاعل وحلأها الى اثني عشر من الحوامض الامينية العشرين الشائعة في البروتينات ، وبعد ذلك أعلنوا عن تكون منتجات هضميتيدية ماثلة من حلالة الترامرثنائي امينو مالونيتريل^(٢٢).

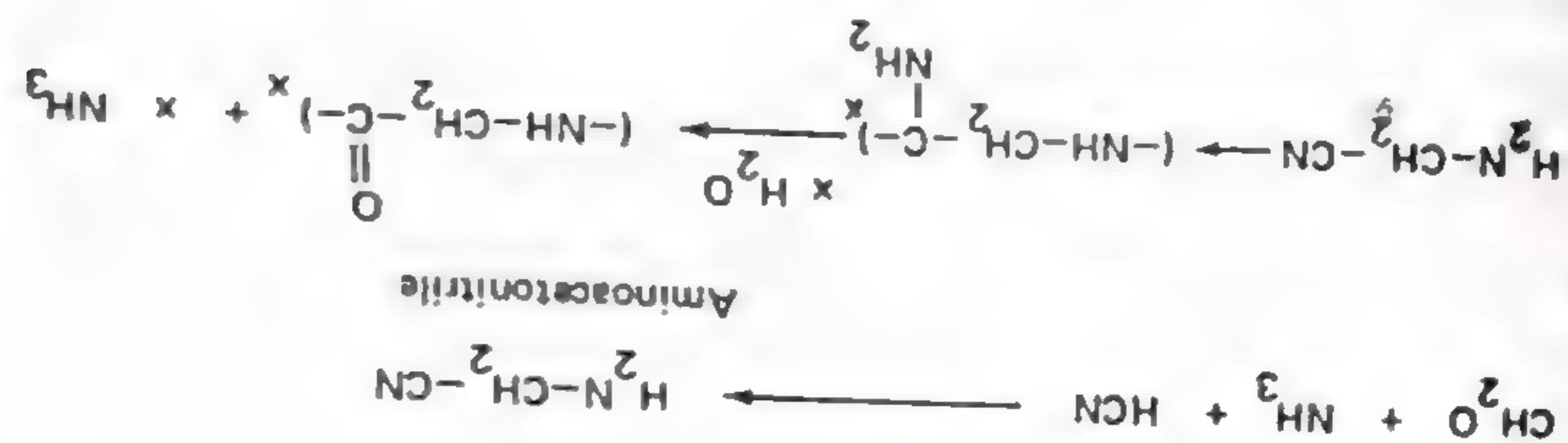
وكنتيجة لاعمال لاحقة، قام ماثيوز^(٢٣) العامل الآن بجامعة النوي بفلكة شيكاغو بطرح فكرته ان البولي هضميتيدات اللامتجانسة تتكون مباشرة من سيانيد الهيدروجين وانها كانت لتكون على الارض البدائية. بحسب منطوق الفرضية يوجد مسلك منخفض الطاقة ليتبلر سيانيد الهيدروجين فيه بسرعة الى بولي امينومالونيتريل، والتفاعلات المتلاحقة لسيانيد الهيدروجين مع

مجموعات النيتريل التفاعلية آنذاك يجب أن تفضي الى البولي اميديز اللامتجانسة (hetero-polyamides) التي بإمكانها أن تتفاعل مع الماء لانتاج البولي هضيتيدات اللامتجانسة مع كون سياقات الحوامض الامينية فيها ماثلة لما لدى البروتينات .

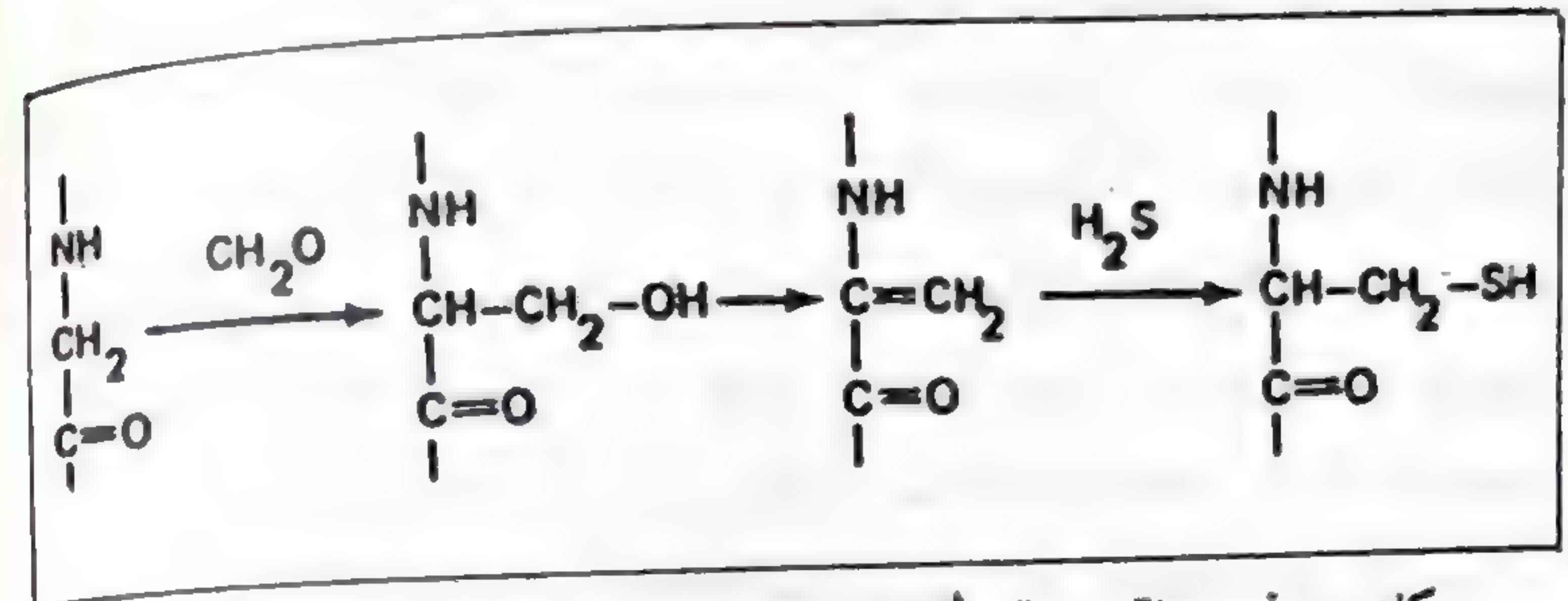
توجد ادلة طيف كسفية (سيكتروسكوبية: spectroscopic) على ان اربطة الهضيتيد ومجموعات النيتريل موجودة في المنتجات المتكونة بالاشعاع المؤين في محاليل سيانيد مائية^(٢٤) . وعند حلماة هذه المنتجات في أعقاب ذلك أدى الى تحصيل عديد من الحوامض الامينية وتأييد للنموذج المقام لأصل البروتينات قام ماثيوز وجماعته^(٢٥) بمفاعلة بولي الفاسيانوغلايسين (poly-a-cyanoglycine) مع سيانيد الهيدروجين أسفرت عن منتج تحلما الى حوامض امينية مختلفة تشمل الغلايسين والالانين والفالين وحامضي الاسبرتيك والغلوتاميك .

ألا ان الرأي بأن البولي هضيتيدات اللامتجانسة او المختلفة تكون بالفعل كطلائع تعرض للتشكك والنقض^(٢٦) . فقد أسفرت الاختبارات النوعية لوجود اربطة الهضيتيد كالتحفيز بالبروناز (ironase) ، وهي انزيم يمكنها حلماة الدايفلايسين diglycine - أو ثنائي الغلايسين الى غلايسين عن نتائج سلبية . لكن مسألة تكون البولي هضيتيدات اللامتجانسة بهذه الطريقة واحتوائها على سياقات كالتى للبروتينات ربما ستبقى رهن النزاع الى أن يتم الحصول على ناتج يتجاوب في تفاعل بيولوجي مثل التجريد الانزيمي . قام سي آي سيمونسكو (C.I. Simionescu) وأف دينس^(٢٧) (F. Dénès) في رومانيا بتحري اعداد او تحضير المواد البوليمرية في تجارب افتعالية في أحوال البلازما الباردة . أضيف خليط من الميثان والامونيا وبخار الماء بواسطة صمام ابري الى حجرة وجرى تعريض الغازات فيها الى تفرغ

كهربائي، ترسبت في أثره النواتج على جدران وقاع القارورة الاسطوانية التي تبريدها الى ستين الى اربعين (٦٠-٤٠°) مئوية تحت الصفر . أسفرت تجزئة هذه النواتج بالتقطير التفاسلي عن حصول كسور او تفر (fractions) بوليمرية بوزن جزيئي يقع في عشرات الآلاف ، وعند حلماة المواد الخام ظهرت حوامض امينية من يورينات وييريديينات ، وعدد من المشتقات المحايدة النهدرين - موجبة ذوات بنى مجهولة في ناتج الحلماة . اقترح نموذج آخر لتمثيل الهضيتيدات ما قبل الحياتية بعد اربع سنوات فقط من تجربة ميلر وكان مبني على التفاعل الذي أعلن عنه في اول الامر سي كروسون (C. Krewson) وجيه كاوج^(٢٨) (J. Couch) في عام ١٩٤٣ . خلال شهر آب من عام ١٩٥٧ ، قبل اطلاق مركبة الفضاء سبوتنك بشهرين ، انعقدت الندوة الدولية الاولى حول نشأة الحياة في موسكو برعاية اوبارين والعلماء زملائه في هذا اللقاء قدم شيرو اكابوري^(٢٩) (Shiro Akabori) من معهد بحوث البروتين بجامعة اوساكا ورقة حول طريقة كان يمكن بها أن تتكون البولي هضيتيدات من اوزان جزيئية بقدر (١٥٠٠٠) في الاحوال البدائية . في هذه الطريقة تفادى اكابوري مشكلة تجفف الطاقة الطليقة بتمثيل البولي غلايسين في الصلصال Clay من الفورمالديهايد والامونيا وسيانيد الهيدروجين بواسطة الامينواسيتونيتريل كوسيط .



بعدما تكون البولي غلايسين امكن ادخال سلاسل جانبية بالتفاعل مع الالديهيد او مع الهيدروكاربونات اللامتشعبة . وبهذه الطريقة عندما قام اكابوري بمعالجة البولي غلايسين في الكاؤلينيت (Kaolinite) بالفورلديهيد تمكن من تحويل اثنين الى ثلاثة بالمائة (٢-٣٪) من الغلايسين الى السيرين، وأعطى الاستالديهيد واحدا ونصفا بالمائة (١٥٪) مجموعات تريونيل (threonyl) . وعلى هذا النحو اعتبر ان الغالين والوسين والايسولوسين يمكن تكوينها من البروبيلين (propylene) والايسوبيوتين (isobutene) «بت-٢-اين» (but-2-ene) وبامكان التفاعل مع الاكريلونيتريل (acrylonitrile) أن يقضي الى الغلوتامين والارجنين والليسين او اللايسين . وبامكان تفاعلات أخرى أن تقضي الى الستين .



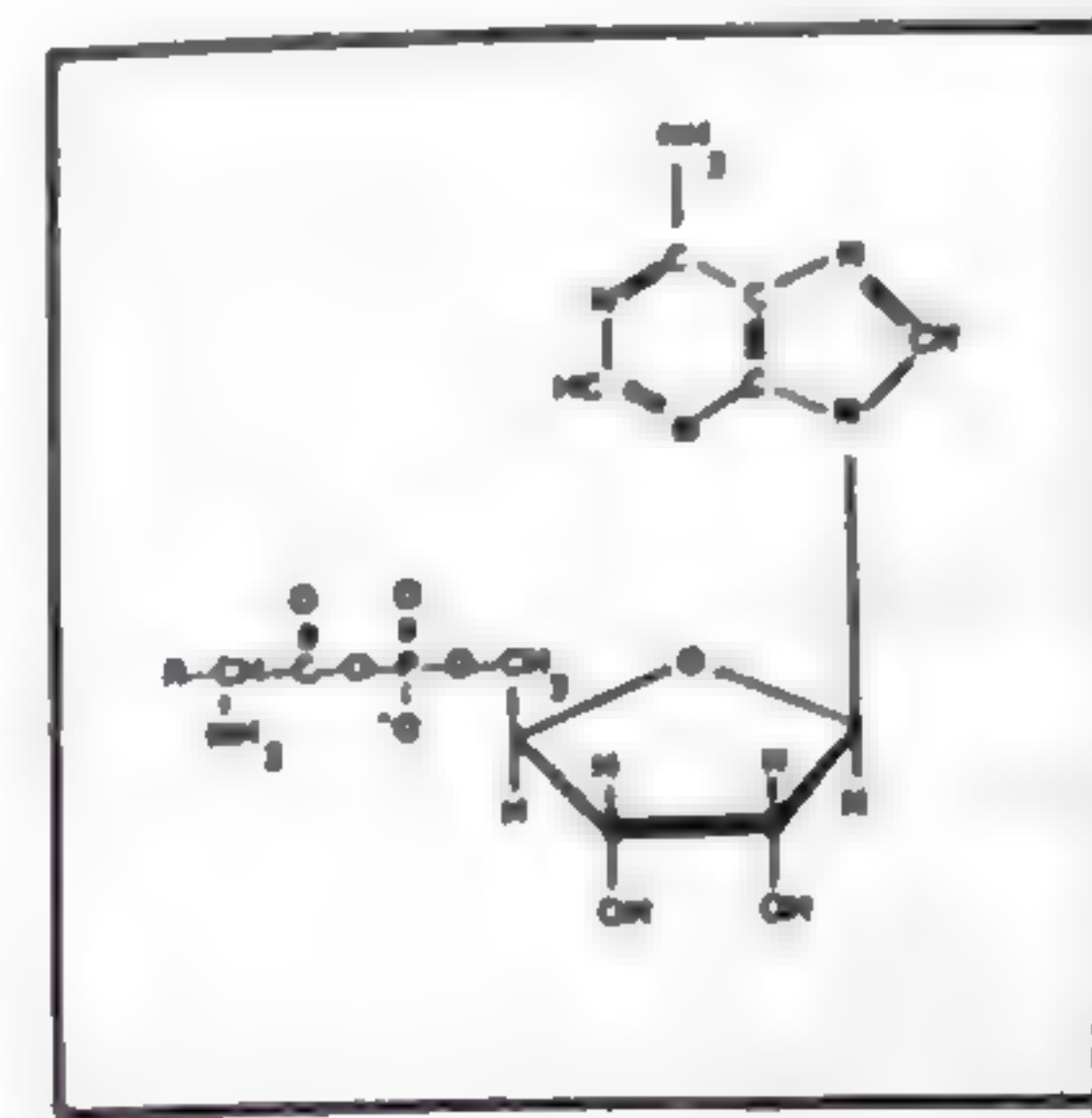
كانت هذه خطة بارعة ، ألا انه يصعب التقدير ما اذا كانت ملائمة لتكون بروتين ما قبل حياتي . كان جيه دي برنال (J.D. Bernal) (٢٠) قد اقترح في عام ١٩٥١ ربما ان الحياة نشأت على سطح الصلصال الذي كان من الممكن ان يراكم مقادير كبيرة من المواد العضوية ، لكن الصعوبة في هذا التفاعل هي رفع الناتج من الصلصال بعد امتصاصه . وكان اكابوري قد استخرج ناتجه بالاستعانة بهيدروكسيد الصوديوم المخفف .

الصلصال هو مادة طبيعية شائعة ذات خواص بنيوية وتحفيزية قد

جعلته مادة مفيدة كعامل امتصاص وايضاح . تؤدي تعرية التربة واصناف الصخور المختلفة الى تكون فلزات صلصالية كجسيمات او هباءات (particles) تتألف في جوهرها سيليكات الالمنيوم المائي الكريستالي (crystalline hydrous aluminium silicates) . تتألف الفلزات من التامات من وحدتين بنيويتين اساسيتين، تتألف احدهما من تراهيدرا السيليكات (silica tetrahedra) مع اربع ذرات اوكسجين او هيدروكسيلات متساوية الأبعاد من ذرة سيلكونية مركزية مرتبة كشبكة سداسية تكرارية لتشكيل صفيحة (sheet) . أما الوحدة البنيوية الأخرى فتكون صفيحتين من الفلزات يتم فيها تنسيق الاوكسجين والهيدروكسيلات على منوال المثلث الاسطح حول ذرات الالمنيوم او الحديد او المغنسيوم . تصنف انواع الصلصال الى ايليت (illites) ، وكلوريت (chlorites) ، وكاؤلينيت (kaolinites) ، ومونتموريلونيت (montmorillonites) وغيرها بحسب سماتها البلورية الاشكالية وكذلك بخواصها التحدية (swelling) ، ومقدرة فلزات الصلصال على مسك ومبادلة بعض الكاتيونات والأيونات هي احدى خواصها الكيميائية المثمنة للغاية .

وبما أنه تتوفر كثرة من الشواهد للدلالة على امكانية تكون الحوامض الامينية بسرعة وسهولة في الاحوال ما قبل البيولوجية ، فإن الكشف اللاحياتي للحوامض الامينية بذاتها لا يزال له روق منطقي . انما تبقى هناك الحاجة الى طاقة عالية لبلمرتها في الاحوال الطبيعية . ولانجاز هذا تنشط الحوامض الامينية عادة بأنهايدريد مختلط بين الحامض الاميني وحامض آخر، وفي التمثيل الحيوي هذا الحامض الآخر هو مجموعة حامض الفوسفوريك في ثلاثي فوسفات الادنوسين ATP والانهايدريد الناتج هو ادنيلات الحامض الاميني .

ما أن يتكون الادنيلات حتى يتم رفع الحامض الاميني الى مستوى من الطاقة مرتفع بما يكفي لحصول البلمرة تلقائياً . انما لكي يتفاعل ادنيلات الحامض الاميني مع حامض اميني آخر يلزم أن تكون المجموعة الامينية لذلك المونومر خالية من الشحنة الكهربائية . تتواجد الحوامض الامينية في السوائل المحايدة بمثابة زويتريونات (switterions) تتم فيها مؤاينة المجموعات الامينية والكربوكسيلية .

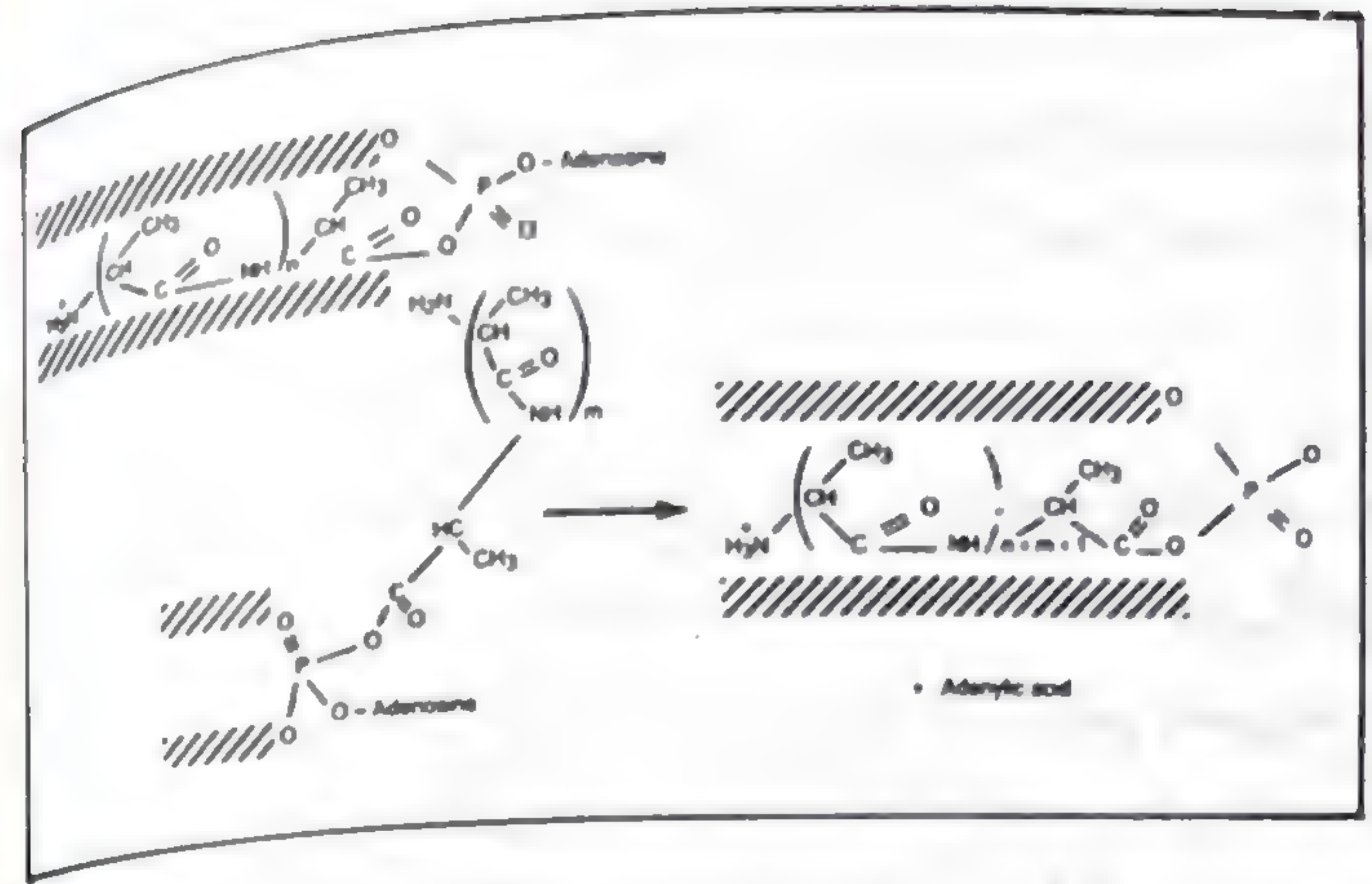


الشكل ١١/٩ - بنية ادنيلات الحوامض الامينية

لن تتكون اية ادنيلات اذا ما ترك الحامض الاميني والاتب للسكون معاً في (٧) ، انما ستكون في سائل حامضي الذي تتواجد فيه مجموعة الكربوكسيل اللامؤاينة ، غير ان الادنيلات الامينية تتحللاً بسرعة في هذا الجانب من الحيادية . ايضا لا تتمكن المجموعة الامينية من التفاعل الا اذا

كان γ حوالي ٠.٨ ان المطلوب للبلمرة في الاحوال الطبيعية هو وضع تكون فيه المجموعات الكربوكسيلية والامينية للحوامض الامينية تفاعلية بنفس مستوى γ

اكتشف هذه الحالة ميلا يخت هورونيتز (Mella Paecht-Horowitz) واهارون كاجالسكي (٢١) (Aharon Katchalsky) اثناء تحرياتها في الاطيان بحثاً عن الصلصال الظرمي او صلصال السيليكا الملائم الذي يتضمن ما يكفي من المجموعات لمتزج بالحوامض الامينية لاعطاء ملح سيليكات للمجموعة الامينية وتسريح المجموعة الكربوكسيلية من الزويتريونة في γ محايدة وفوران تتحرر المجموعة الكربوكسيلية بإمكانها ان تتفاعل مع الاتب لتكون انها يدريد تفاعلي مختلط . اكتشفا ان الزيوليت تقوم بهذه الوظيفة وعند استخدامها في خليط من حامض اميني واتب افضى ذلك الى توليد الادنيلات، لكن التبلر لم يحصل . وعندما تذكرنا نجاحهما السابق مع الموتوموريلونيت، اقاما تجربتهما من جديد على هذا الصلصال وفيه بدأ تبلر الحامض الاميني . في احوال التجربة ،: تبلرت الحوامض الامينية باختلاطها بالاتب والموتوموريلونيت في مستوى γ ما بين (٧٥) الى (٨٥)، ونظراً لتحرر حامض الادنيليك في هذا التفاعل استلزم ذلك الحفاظ على مستوى γ بإضافة القلي باستمرار ، وخلاف ذلك كان التبلر سيتوقف مع صيرورة γ يد حامضياً . كان مدى البلمرة المحقق باهراً ، وخلال بضع ساعات امكن تحقيق سلاسل من خمسين (٥٠) مونومرا وأكثر .



الشكل ٢/١٩ - بلمرة ادنيلات الحوامض الامينية في صلصال المونتوريلونيت

انما حصلت معوقات . بعض الحوامض الامينية تبلمرت سوية بشدة كالالانين والسيرين او الالانين والبرولين ، بينما جنح خليط من الالانين وحامض الاسبرتيك الى اعطاء فقط بوليمرات متجانسة من كل منهما . كما ان الحوامض الامينية القاعدية لا تبلمر لشدة تلاصبها في الصلصال .

لكن ناحية ملفقة للنظر في التفاعل هي انه بامكانه نظريا تكوين حامض البولي ادنيليك من نفس المادة البادئة كمنتوج جانبي للتفاعل (٣٢) .

لم يتم التدليل على هذا تجريبيا ، انما اذا كان يمكن تكوين الحوامض البولي امينية والحوامض البولي نوويك في آن واحد وفق ما طرحه آيجن (٣٣) (Eigen) فقد كان سيتم التغلب على عقبة رئيسة في الحل لمسألة أصل الحياة .

ليتسنى تكثف الحوامض الامينية في الصلصال يلزم أن تكون تركيزاتها فوق مستوى (٣-١٠) مولة بالتر الواحد . لقد اجريت اغلب التجارب المختبرية بتركيزات عالية نسبيا بغية تحقيق النتائج الأمثل انما ربما لم يكن

تركيز الحوامض الامينية في البحار عاليا جدا مطلقا . وبالاخذ بالحساب عمليات الانتاج والتلف ، قام كلاوس دوزه (٣٤) (Klaus Dose) بحساب تركيز الحوامض الامينية في البحر البدائي بكونه زهاء (١٠^{-٩}) مولار ، ووجد اين لاهاف (N. Lahav) واس چانك (٣٥) (Chang) ان التصاب او امتزاز الحوامض الامينية عند مستوى (٨^{-١٠}) اضعف بكثير مما كان يساعد هذه المونومرات على التراكم على أسطح الصلصال ، وهذا يطابق ما كان برنال (٣٦) قد ابداه . لهذا السبب يظن الخيار المتقدمان أن أي تفاعل في الصلصال كان ستسببه خطوة تركيز كمن قبيل التبخر في بحيرة او غدير .

لقد وجد ان اطيان الصلصال كانت نادرة في رواب دهور ما قبل الكامبري (٣٧) ، لكن رغم انها ربما لم تكن غزيرة كتراكم الاطيان الصلصالية من الصخور الرسوبية ، فانه مع ذلك يمكن ان ينجم الصلصال من استحالة الزجاج البركاني الى صخور طفالية او صلصالية . ان الفعل الحرارمائي (hydrothermal) للنافورات البركانية او التعرية على الارمدة والطفة البركانية يؤدي في الاغلب الى انتاج صلصال المونت موريلونيت (٣٨) . وعليه فلربما كان توجد اطيان صلصالية في الدهر الاركي لتنفيق بلمرة الحوامض الامينية ، كما طرحته بيخت هوروفتزر وزملاؤها .

للتفاعل الصلصالي التحفيز جدارة انما له ايضا منقص بنفس الوقت . ان السمة البارز لتفاعل التكثف على الصلصال هي انه تكثف في الفاصل البيني (interfacial) ، وهي آلية شديدة الشبه او التماثل بالمنظومات البيولوجية التي تكون فيها البنية البدنية بالغة الاهمية ، كالتفاعلات السطحية التنشيط في سطحي البني (interfaces) الماء - الدهون ، فضلا عن ذلك لقد اوضح ارمين فايس (٣٩) (Armin Weiss) من جامعة ميونيخ ان بإمكان منظومات الصلصال

اللاعضوي أن تعمل كحاملات معلومات بعملية التكاثر الذاتي التلقائي.

لكن الاعتراض الأكثر خطورة على التفاعل ليس موجهاً إلى آليته، وإنما إلى امكانية انطباقه . ان التجارب التي أقامتها بيخت هوروفيتز، واكابوري، وفوكس، وغيرهم، قد حاولت أن توضح بالمثل الاحوال البيولوجية التي كان يمكن ان تنتج عنها بولي هضميتيدات كبيرة على ما يظهر مع الافتراض أن مثل هذه العملية يمكن بالنهاية ان تنجم عن تمثيل ما قبل البيولوجي للانزيمات او مواد شبه انزيمية . ومتى ما توفرت البولي هضميتيدات لتحفيز التفاعلات الضرورية البيوكيميائية سيكون بإمكان خلية حية وظيفية ان تلتئم . لكن امكانية نشوء أي شيء يشبه الانزيمية ابداً من هذه التفاعلات امر مشكوك فيه للغاية . ثم من جانب آخر، ان هذه كلها مسائل درب مسدودة ، ولم يكن سياق اية بولي هضميتيدة ذات فائدة سيتم الاحتفاظ به وتناقله إلى الاجيال المتعاقبة، لعدم كونه متأياً من منظومة تناسخية.

الفصل العشرون - غموضية الانزيمية

بدأت الانزيمية دائماً محفوفة بظل من الغموضية والابهام . كما ان الطبيعة المتناهية في النوعية لنشاطها ووتأثيرها المذهلة في تحفيز التفاعلات قد أطررتها بما يوحي ان لابد ان الانزيمات خلائق فريدة تقف على جانب من سواد المواد الكيميائية الاخرى . انما سواء كانت الانزيمات من السواد أم خلافه ، فهي ليست اكثر من مجرد جزيئات كبيرة قد شحذها التطور وشذبها الارتقاء إلى دقة باهرة وقدرة عجيبة على مر اربعة آلاف مليون سنة من التهذيب.

اننا ندرس اشكال الحياة المعاصرة وندهش مختارين من تنامي تعقيدها البيوكيميائي . فحتى ابسط بكتيرية على الاطلاق تضم ما بين الفين إلى ثلاثة آلاف (٢٠٠٠-٣٠٠٠) انزيمية مختلفة لانجاز عملياتها التآيضية . تعمل ماكتتها الخلوية التي تديرها الانزيمات بتمهي السلاسة والاقتدار وبما يوحي إلى الناظر أن الانزيمات بحالتها الحاضرة كانت جوهرية لتكوين اية منظومة بيولوجية اولية . لكننا تتأمل جهازاً أحدث من ذلك بأشواط شاسعة . والحياة لم تبدأ مع الانزيمات، انما بالاحرى تطورت معها عبر دهور من التبدل الطفرة والتكيف . ولكي نفهم كيف تمكنت الخلية الاولى من البدء على الطريق المؤدي إلى منظومة حية تعمل كلياً بأمرة وتحكم الانزيمات، يقتضي بنا ان نتعرف على ما الذي يجعل الانزيمية تشتغل، ولكي نفهم الانزيمات يقمن بنا أن ندرك ونقدر خصائص البروتينات واهميتها الفريدة ، وذلك لأن الانزيمات هي بروتينات.

ما ان أصبحت البروتينات جزءاً من المنظومات البيولوجية حتى أضفت عليها تنوعية مكنتها من خلق الصفات الفردية المميزة لكل كائن حي . توجد عشرات الآلاف وربما ما يتوف على مائة ألف (١٠٠ ٠٠٠) بروتينة مختلفة في

كل جسم بشري ، وتمثل أكثر من نصف الوزن الجاف للبدن، وتتراوح بالحجم الجزيئي من ستة آلاف (٦٠٠٠) الى ما يناهز عشرة ملايين (١٠.٠٠٠.٠٠٠)، غير اغلبها يقع في ما بين اثني عشر الفا وستة وثلاثين الفا (١٢٠٠٠-٣٦٠٠٠) أي من مائة الى ثلاثمائة (١٠٠-٣٠٠) حامض اميني، وهو حجم سلاسل البولي هضيتيدات التي تقوم الريبوسومات بتشيكلها، أي صنعها، عادة.

تعمل البروتينات بصفات عديدة . فالبروتينات كالميوسين (myosin) والكولاجين (Collagen) تؤلف المكونات البنيوية للعضل والانسجة الضامة او الرابطة بمثابة كيراتين (keratin) تكون الشعر والاذفار ، وكأثرينات تقوم بضبط وتسير جوهريا كل تفاعل بيوكيميائي، وكهورمونات (hormones) تعمل بصفة العوامل التنظيمية للعمليات الخلوية . والبروتينات اجسام مضادة (antibodies) تعمل في التجاوب الحصين ضد البروتينات الاجنبية، وكهستونات (histones) وبروتامينات (protamines) تقوم بكبت الجينات غير المطلوبة. فما هو السر في تكليف البروتينات بكل هذا العدد الكبير من الوظائف في عمليات الخلايا؟

والجواب هو ان بوسع البروتينات أن تنجز ما لا تستطيع انجازها الا مواد غير قلائل غيرها ، ألا وهو تميز الجزيئات الاخرى، ومقدرة البروتينات على تشخيص الجزيئات تعطي الانزيمات نوعيتها الدقيقة المتناهية . لقد اعتد تطور المنظومات الحية الى عدد كبير من التفاعلات البيوكيميائية على قدرة الخلية على تنسيق عملياتها العديدة والتحكم في كيفية توجيهها. وتسنى هذا بفضل تنمية الخلية انزيمية معينة لم تابعة كل تفاعل . ولهذا السبب ليست الانزيمات محفزات نوعية يحار العقل ازاءها فحسب، بل ان عددها ضخم للغاية ايضا.



فما هو مدى تعقيد البنية الكيميائية للانزيم الواحدة ، وكيف امكن لكل هذا العدد العديد من الجزيئات المعقدة ذوات هذه الدقة الباهرة أن تتشاكل خلال فترة الحياة على الارض؟

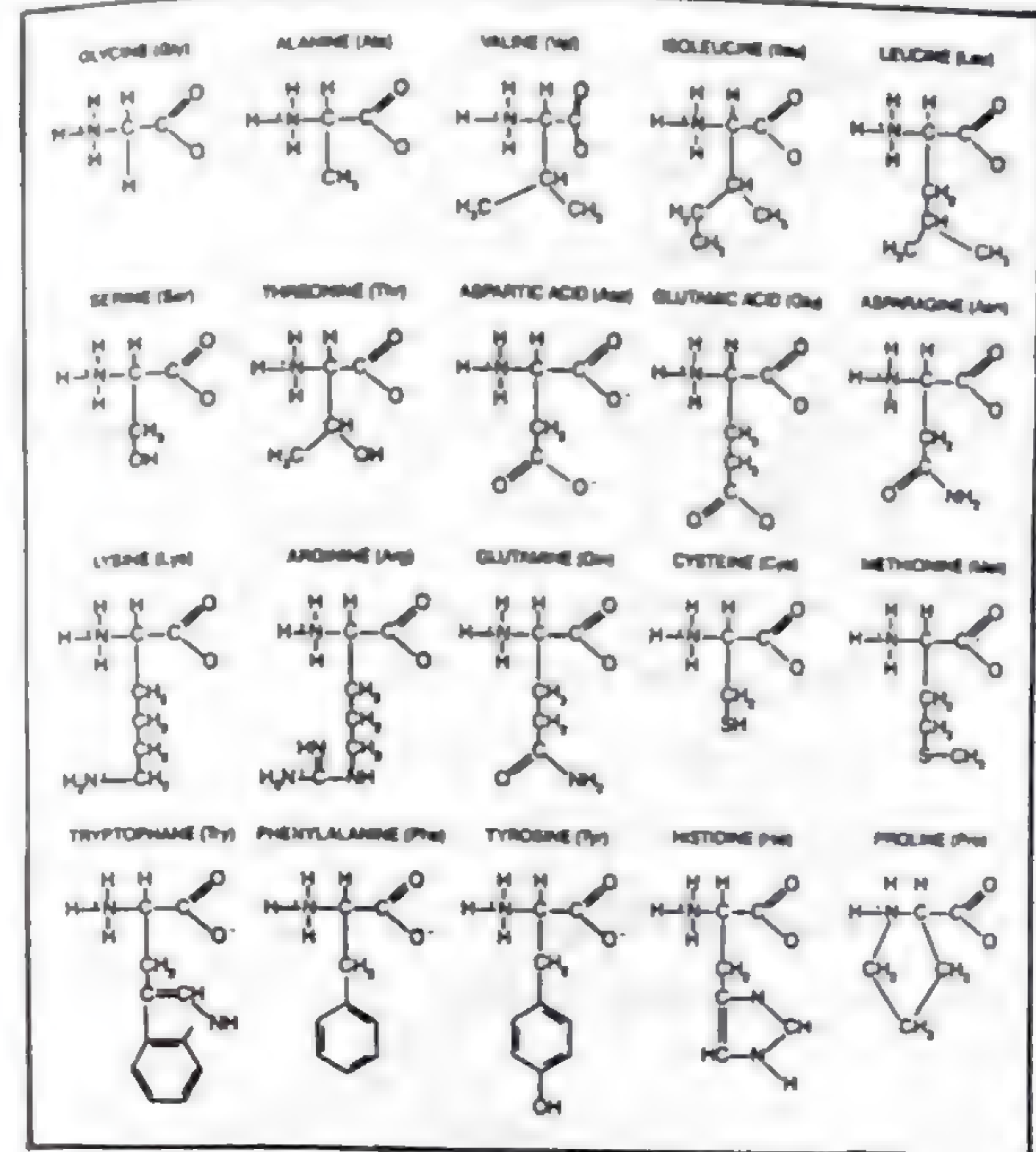
اتنا نعلم أن جميع البروتينات عند تسخينها في حامض الهيدروكلوريك عياري ٦ (6 Normal hydrochloric acid) بدرجة حرارة (١١٥°) مئوية لعدة ساعات. تتم حلقاتها الى وحداتها الفرعية ، وهي الحوامض الامينية. والحوامض الامينية في البروتين موصولة معا في سلسلة طويلة مع كون تعاقب ترتيبها بالاساس المسؤول عن فرديتها . يوجد حوالي عشرين حامضا امينيا عاديا (انظر الشكل ١/٢٠) وهي تشكل الفباء بنية البروتين. وهذه البنية بمثابة لغة مكتوبة، والحوامض الامينية هي الحروف التي تشكل الكلمات التي يتم صوغها في جمل، وهذه بدورها تصبح الرسالة التعبيرية التامة . ويتم تفسير الرسالة ، وهو دور البروتين البيولوجي، في مجموع بنية الجزيئة الكلية.

تعتمد مقدرة البروتينات على التمييز بين الجزيئات المختلفة على شكل او كم البروتينات الثلاثي الابعاد، وفيما تطورت الحياة وازدادت تعقيدا، ازداد تعقيد بروتيناتها ايضا. وأدرك البيوكيميائيون انهم ان ارادوا أن يفهموا كيف تشتغل البروتينات في الخلية الواحدة فإنه يقتضي بهم التعرف على شكلية الترتيبية المجسمة للجزيئات بكل دقائقها التفصيلية. وأصبحت هذه احدى أشق وأصعب المهام التي واجهتها الدراسات والبحوث لفك رموز كيمياء الحياة وكشف اسرارها .

تتألف البولي هضيتيدة الواحدة من سطر من الحوامض الامينية متصلة في سياق (انظر الشكل ٢/٢٠) . لكن عندما تكون الجزيئة كبيرة كما هي بالنسبة الى البروتينات ، لا تكون طويلة بل مشوهة بعدد من العوامل في تضريسة مجسمة . تتيح تنويع المجموعات الوظيفية في السلاسل الجانبية



للحوامض الامينية قيام التفاعلات التي تؤدي الى استقرار أو تهدئة بعض التفاعلات الشكلية وتخل باستقرار غيرها ، وبوسع مجموعات الكبريتيد (sulfhydryl) لسيستين اثنتين (cystines) ان تتأكسد لتشكيل رابط ثنائي الكبريتيد (disulfide) القوي . كما بوسع مجموعات توريد الهيدروجين من مثل ($>NH$) تشكيل اربطة هيدروجينية مع مجموعات الكربونيل ($>C=O$)

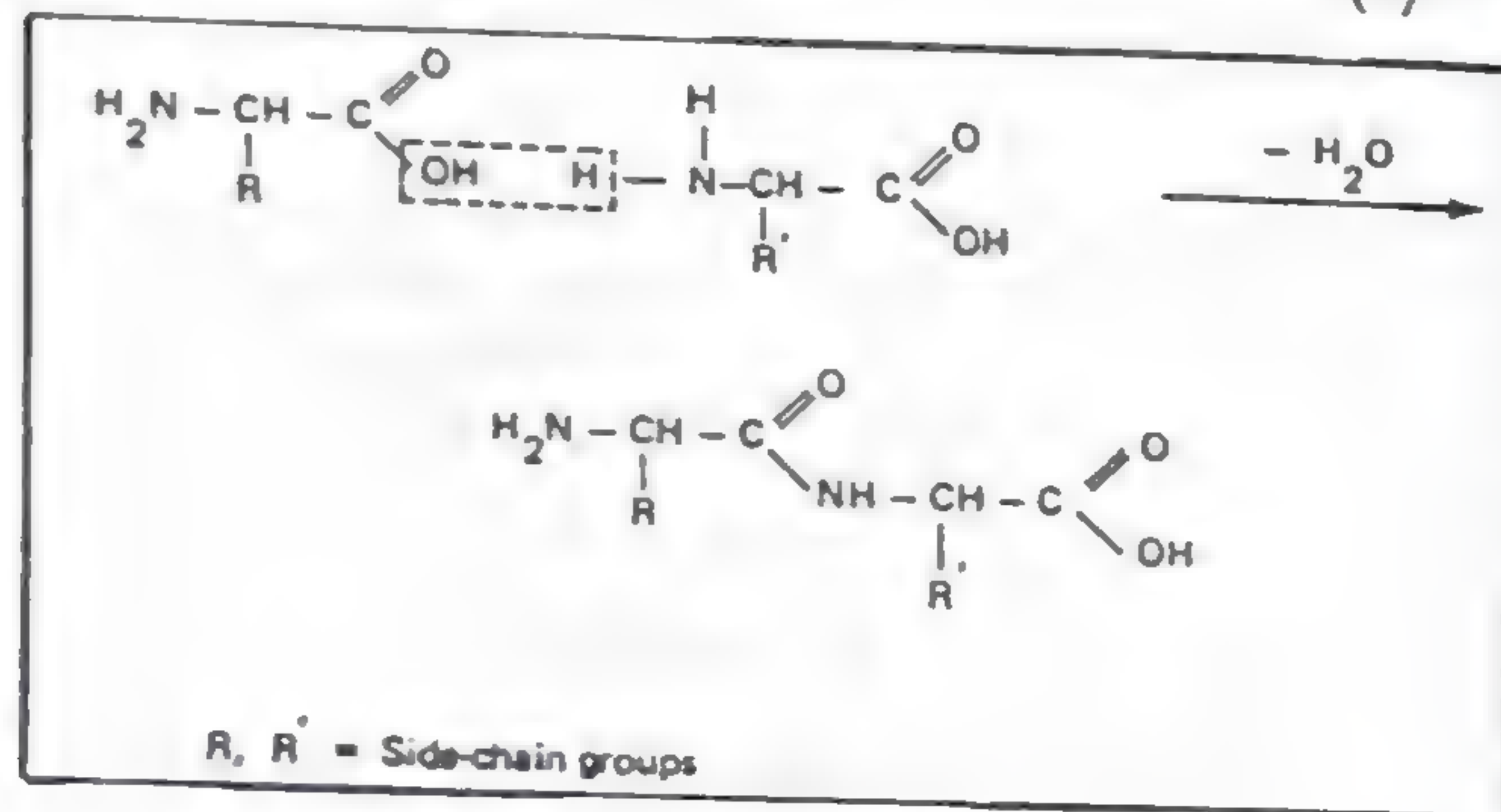


الشكل ١/٢٠ - الحوامض الامينية الشائعة العشرون الموجودة في البروتين.

(انظر الشكل ٣/٢٠) . كما بوسع الصد الحيزي أو الجسم (steric repulsion) السلاسل الجانبية الضخمة الحيلولة دون اصطاف بعض التفاعلات الشكلية (conformations) ، فضلا عن أنه بوسع الماء بكونه بنية ذواية (solvating structure) حول المجموعات المشحونة والقطبية بذل تأثير كبير.

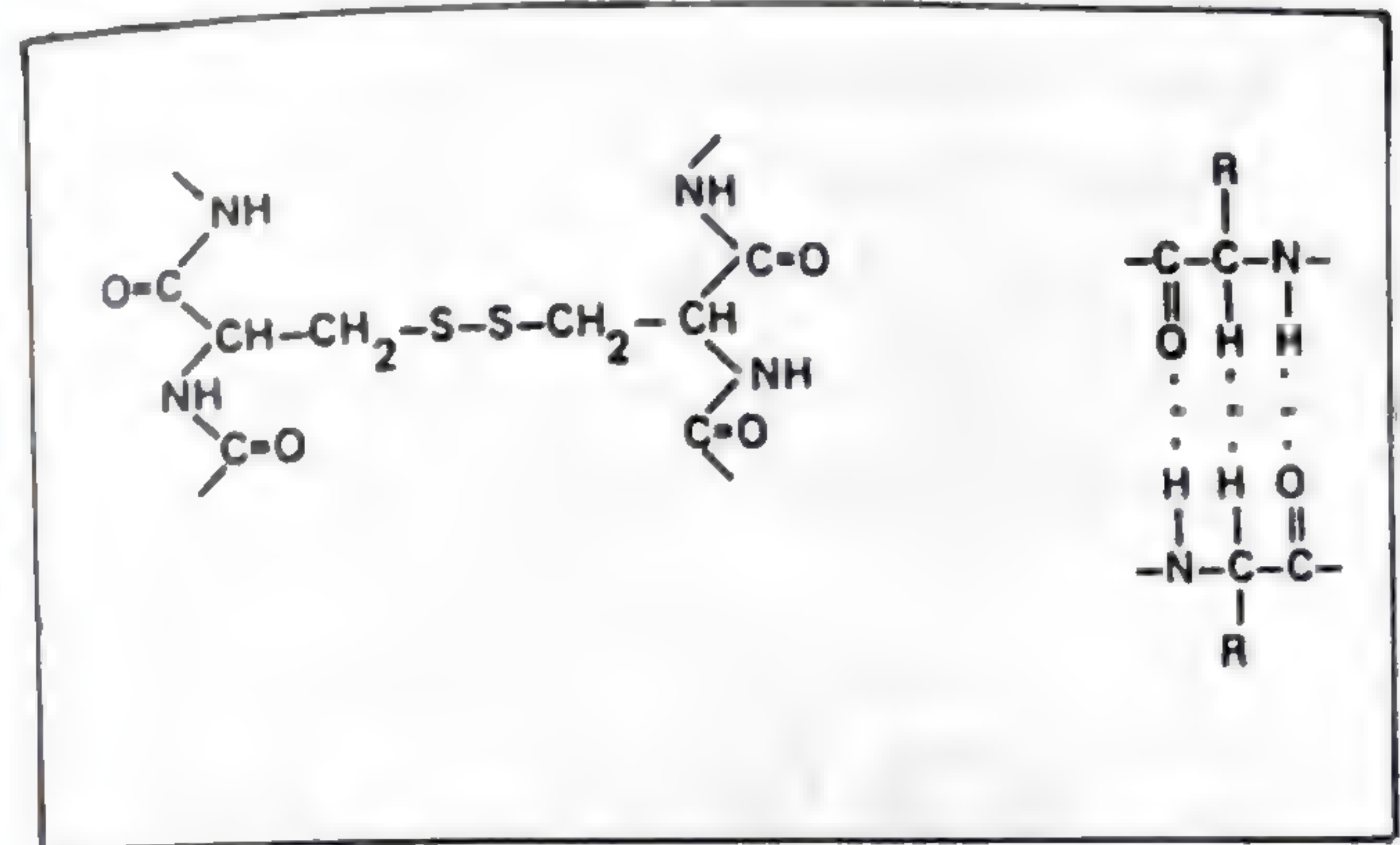
قام الكيميائيون بتصنيف بنى البروتينات الى اربع مراحل ليتنى تعريف اشكالها وأحجامها الثلاثة الابعاد. ان البنية الاولى الاساسية للبروتينات هي سياق الحوامض الامينية في سلسلة البولي هضيتيد . أما المراحل الثلاث الاخرى فهي ترتيبات حيزية أو مجسة مختلفة تتخذها سلسلة البولي هضيتيد اما بمفردها او مع بولي هضيتيدات أخرى .

اكتشف لينوس بولينك (Linus Pauling) وروبرت كوري (Robert Corey) وزملاؤهما^(١) من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ان الطريقة الوحيدة التي تشابه بها لبنات البناء اللامتناظرة للبوليمر بحيث تملك كل منها نفس العلاقة بجارتها هي بتشكيل لولب كالدرج الحلزوني . وعليه يصبح تلولب الحوامض الامينية البنية الثانوية للشكلية البروتينية (راجع الشكل ٤/٢٠) .



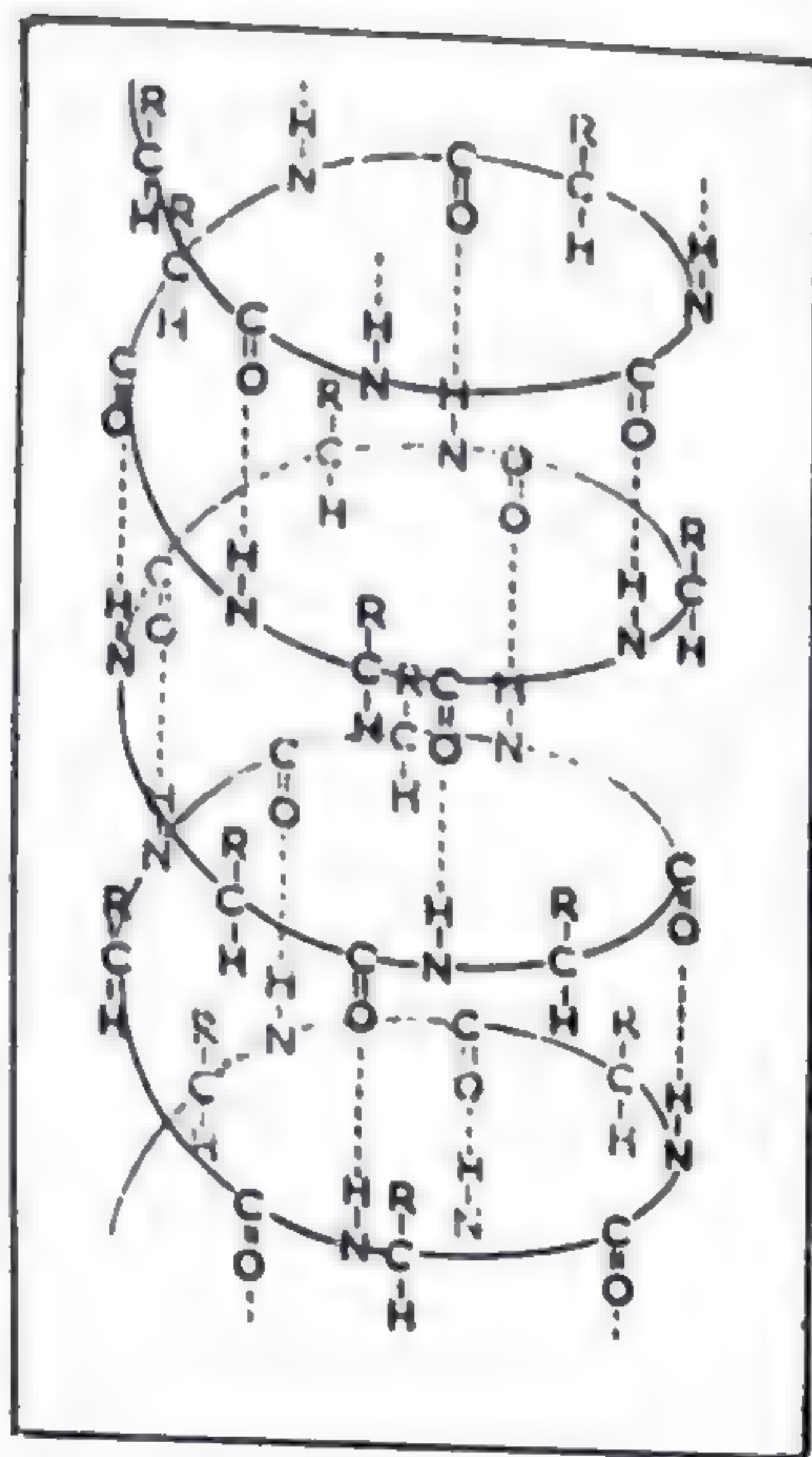
الشكل ٢/٢٠ - هضيتيد ثنائية . A dipeptide

أما المرحلة الثالثة للترتية الثلاثية الأبعاد فهي الكيفية التي تنعطف بها سلسلة البولي هضميتيد وتتحوّل وتلتف حول نفسها في شكل معين تصطف معه مجموعات السلسلة الجانبية لحوامض أمينية مخصوصة في التوجّه المضبوط تماما. عندما تنطوي سلسلة البولي هضميتيد، تجنح إلى دفع المجموعات القطبية إلى الخارج حيث ترتفع هذه بجزيئات الماء، وسحب المجموعات اللاقطبية إلى الداخل فتقوم هذه بتشكيل التفاعلات المنافرة للماء، وبالنسبة تفضي هذه العملية إلى شكل كروي للبروتين له باطن شبه دهني ووسط قطبي وإيوني. (أنظر الشكل ٢٠/٥).



الشكل ٢٠/٣ - هضميتيدات متحدة برابط من ثنائي الكبريتيد ، واربطة هيدروجينية.

يوجد مستوى رابع من التنظيم للبنية البروتينية ، وهذه هي المرحلة الرابعة . هنا، بدلا من سلسلة بولي هضميتيد مفردة ، بوسع عدة بولي هضميتيدات، أما مماثلة أو مختلفة ، كل منها مع بنياتها الأولية والثانوية والثالثية، من الارتفاق في بنية منظمة تملك خواصا ونوعيات لا تبديها أي من الوحدات المونومرية.



الشكل ٢٠/٤ - بنية لولب ألفا للبروتينية .

كانت الخاصية الرهية للانزيمات التي واجه العلماء مشقة عظيمة في تفهمها هي كيفية تمكنها من تنسيق التفاعلات بهذه السرعة ولتفاعل واحد نوعي فقط. قام اميل فيشر (Emil Fischer) ، الكيميائي الألماني الذي أوضح طبيعة رابط الهضميتيد في عام ١٩٠٢، بتحري هذه المسألة . وعندما اكتشف ان الخميرة تنمو على الايسومردي (D-isomer) للسكر انما ليس على الايسومر ايل (L-Isomer) ارتأى أن لابد من وجود طريقة يتمكن بها ايسومر واحد فقط من جزيئة السكر من الدخول أو التراكب تماما في الانزيمه اشبه

كثيرا بتراكب المفتاح في القفل. فأصبحت هذه فرضية القفل والمفتاح لشرح التفاعل النوعي بين الانزيم ومادتها السفلية (substrate)، أي الجزئيات التي تعمل عليها الانزيمات.

في عام ١٩١٣ قام ليونور ميخائيليس (Leonor Michaelis) و مودنتون (Maude Menton) بالتوسيع على فكرة القفل والمفتاح ليعبر، وطرحا ان النوعية التخصصية العالية للانزيمات تنشأ من قيام الانزيم بتوفير موقع في سطحها تمكن جزيئة من المادة السفلية من الارتباط به بكيفية دقيقة وصحيحة فتشكل بذلك شبكة وسيطة بين الانزيم والمادة السفلية. ومتى ما تتكون الشبكة تقوم المجموعات التفاعلية في الانزيم بتتقيق التفاعل الكيميائي المطلوب على المادة السفلية.

عندما تقدمت كيمياء البروتين الى حيث امكن معه تشخيص الحوامض الامينية الكائنة في الموقع الفعال بسياقها الاولي، اكتشف الباحثون ان الحوامض الامينية المشاركة كانت في العموم بعيدة عن بعضها البعض تماما في موضعها في سلسلة البولي هضيتيد الطويلة. وبدا الآن واضحا لماذا تطورت الانزيمات الى هذه الاحجام الكبيرة للغاية. لقد كانت ذلك بحكم الضرورة. يتم تمثيل سلاسل البولي هضيتيد كسياق طولي من فضلات الحوامض الامينية، لكن لما كانت وظيفة الانزيمات تتوقف على شكلها الثلاثي الابعاد لكي تتمكن من تمييز المادة او السطح السفلي وتجعل المجموعات موجهة بدقة للموقع الفعال، فانه بوسع سلسلة الحوامض الامينية تحقيق هذا فقط بامتلاكها بوليمرا طويلا بما يكفي ليتسنى تعويجه في شكل مكعب او كروي (globular).

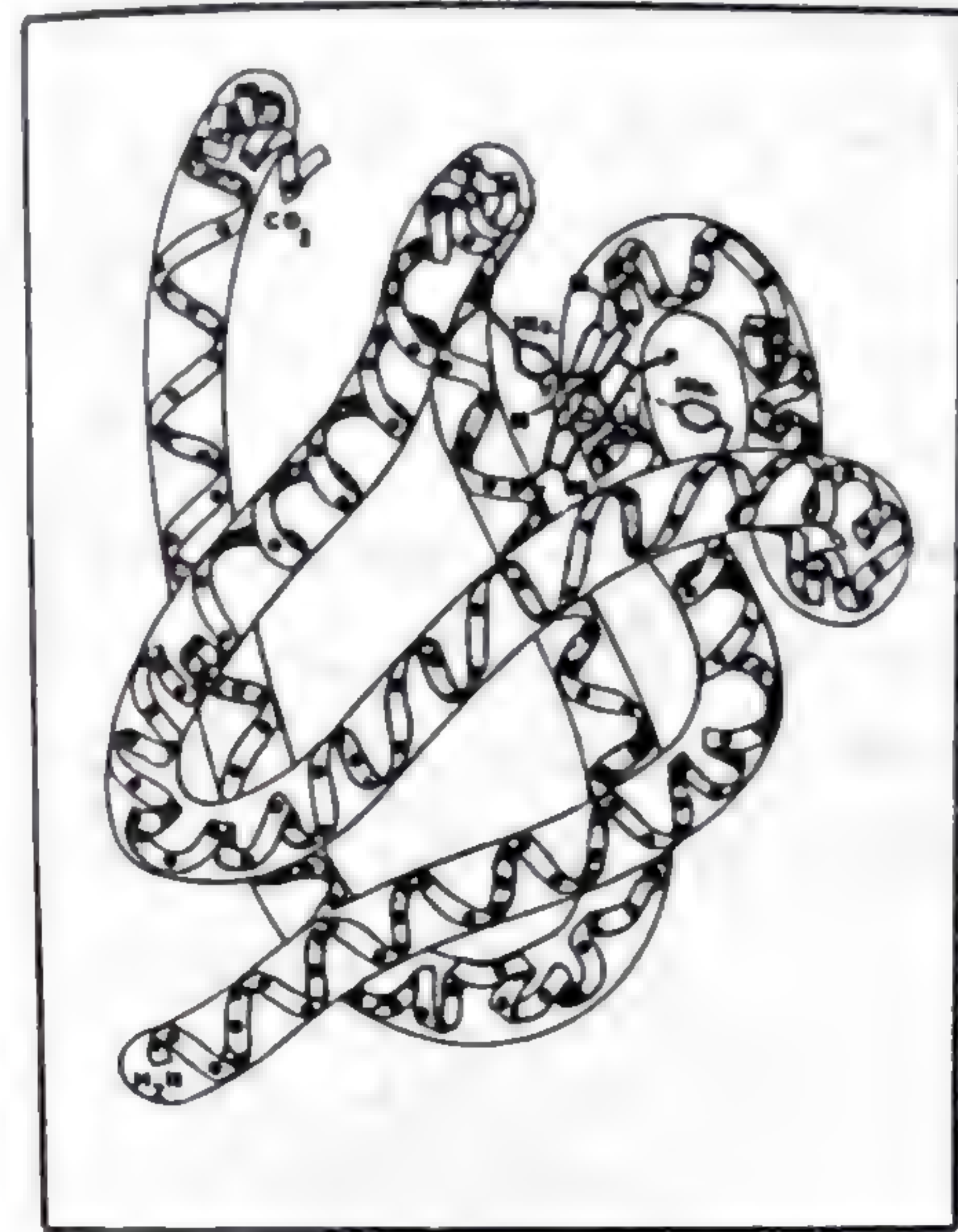
لم يمكن التثبت من البنية الثلاثية الابعاد التامة لاية انزيم حتى عام

١٩٢٦. وهذه انزيم كان الكزاندر فليمنك (Alexander Fleming) اول من لاحظها في عام ١٩٢٢، وفليمنك هذا هو مكتشف البنسلين. اثناء عمله في لندن اصيب فليمنك بركام اضطره الى ملازمة الفراش، وبدافع طبيعته الفضولية الاستطلاعية، استغل هذه المناسبة لوضع قطرة من مخاط انفه في زرعة من البكتيريا. وبعد مرور بضعة ايام وجد، لشدة دهشة، ان البكتيريا الاقرب الى قطرة المخاط كانت قد اكلت واختفت. وادرك فليمنك آنذاك ان استهلاك البكتيريا يعزى الى انزيم، ولما كان بوسع هذه الانزيم اذابة الخلايا البكتيرية، أطلق عليها اسم الليسوزيم lysozyme = ذوبزيم).

ان الليسوزيمات واسعة الانتشار وقد وجدت في اعضاء عديدة وفي خلايا ويلازما الدم، وفي اللعاب والحليب، والدموع، وآح او ابيض البيض. وليسوزيم آح او زلال البيض هذه، التي قام بالتثبت من بنيتها الاولية منفصلا بير جولييه وزملاؤه^(٢) (Piorrp Jollès) بجامعة باريس، وروبرت في كافيلد^(٣) (Robert E. Canfield) بكلية الطب والجراحة بجامعة كولامبيا، هي بولي هضيتيد مفردة تتألف من (١٢٩) وحدة فرعية حامض امينية. وبما انه يمكن فض او فتح واعادة ملي جزيئة الليسوزيم بسرعة وسهولة، فانه تسنى التثبت من قدرتها التحفيزية (catalysis) ونوعيتها (specificity) وايضا بنيتها الثلاثية الابعاد بواسطة هذه الفضلات فقط.

ان وظيفة الليسوزيم هي شطر رابط معين من مخطوبولي سكاريدة ((mucopolysaccharide) و ميوكوبولي سكاريدة، وهذه سكرة مشبكة طويلة السلسلة تشكل أحد مكونات جدران الخلايا البكتيرية، ويتم الانشطار بتحفيز تحلؤ رابط كاربوني اوكسجيني (C-O). أما كيف تتمكن الليسوزيم من فلق هذا الرابط النوعي فأصبحت مادة البحث المستهدفة في تحريات قام بها ديفيد فيلبس (David Phillips) وآخرون^(٤) في المعهد الملكي

بلندن في عام ١٩٦٠. كان الهدف هنا رسم البنية الثلاثية الابعاد لليسوزيم بتفاصيلها الذرية باستخدام أسلوب الكريستالوغرافيا للأشعة السينية. بهذا الأسلوب يتم تسجيل انماط حيود الأشعة السينية ، ويتم تحصيل صورة الذرات في الجزيئة بواسطة الاحساب^(٥). (ملاحظة: يمكن تسديد المجامع للأمواج الضوئية او حزمة الالكترونات ، لكن لم يتم بعد ابتكار اية وسيلة لتسديد الأشعة السينية في فصمة او صورة (image)).



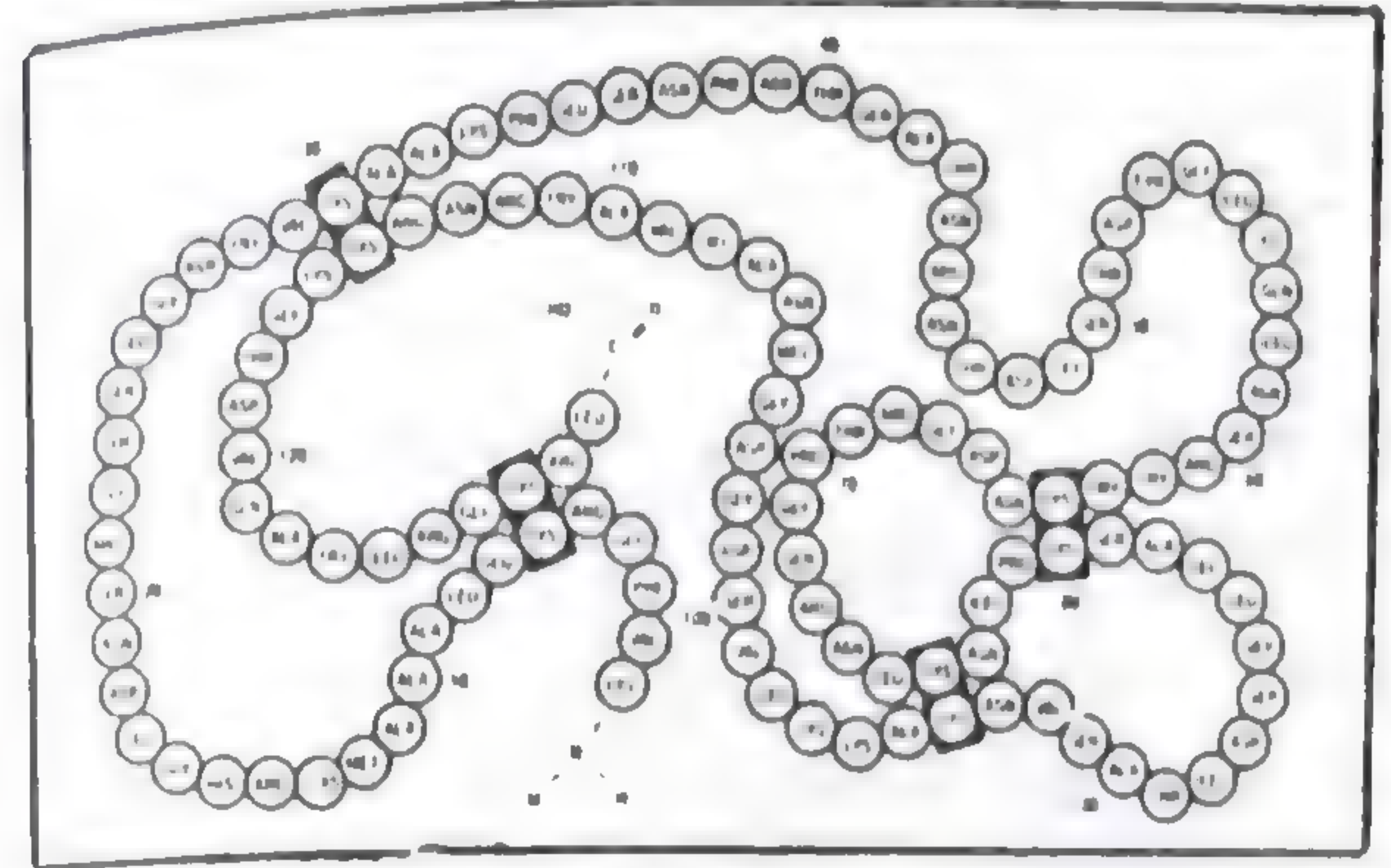
الشكل ٥/٢٠ - رسم ايضاحي للبنية الاولى والثانية والثالثة لبروتين (ميوجلون). والنقاط تمثل ألالفا كربون للحوامض الامينية.

تتضمن جزيئة اليسوزيم زهاء (١٩٥٠) ذرة. استلزم مهمة التثبيت من البنية الثلاثية الابعاد للانزيم التحقق من جميع او تقريبا جميع مواضع هذه الذرات. في عام ١٩٦٢ تمكن فيليبس من الحصول على صورة منخفضة الوضوح للبنية من (٤٠٠) حيودات قصوى وشاهد الشكل العام للجزيئة. كان قد أدرك أن بلوغ هدفه لن يكون سهلا، لكن ترتيبية سلسلة البولي هضيتيد كانت أكثر تعقيدا حتى من توقعات فيليبس.

بعد ثلاث سنوات ، بعد تطوير اساليب امضى واكثر كفاءة لمقايسة واحتساب البيانات ، وبعد استخدام زهاء عشرة آلاف (١٠٠٠٠) نط حيود، تم الحصول على صورة . وفي هذه المرة كان الوضوح عاليا بما يكفي لرؤية وتميز العديد من المجموعات الذرية ، ووجد فيليبس وزملائه ان الجزيئة المملقة تألفت من ثلاثة اقسام من لولب الفاء وطولين من سلسلة البولي هضيتيد متوازيين في اتجاه معاكس مع عطفة او ثنية دبوس الشعر في السلسلة ، وطيات أخرى غير منتظمة للغاية يتعذر وصفها بإيجاز. كانت نتيجة هذا التجمع والتحوي لسلسلة البولي هضيتيد بنية تشكل جناحين يقعان على زاوية من بعضهما، واستحالت الثغرة بين الجناحين الى شق عميق يمتد على احد جانبي الجزيئة . شكل هذا الشق الموقع الفعال للانزيم والفجوة التي تتراكم فيها المادة أو الطبقة السفلية.

وبدراسة التفاعل بين اليسوزيم وثمانية سكاكر امينية مختلفة تمكن فيليبس من ايضاح ان الموقع الفعال (active site) كان مربوطة بأربطة هيدروجينية تتألف من ست فضلات من سكر اميني عارية تقع على الطبقة السفلية . والحوامض الامينية العديدة التي تبطن الشق والمسؤولة عن ربط الطبقة السفلية بالانزيم مبعثرة في منطقة واسعة على امتداد السلسلة . ان الترتيبية المفضلة التي يمكن فيها مراكبة نموذج من الطبقة السفلية للانزيم

في الشق تضع الرابط الذي يتحلأ مباشرة بين مجموعة الكربونيل من أحد حوامض الاسيرتيك في الموضع (٥٢) ومجموعة الكربوكسيل من أحد حوامض الغلوتاميك في الموضع (٣٥). وقد ينت المشاهدات البنيوية ان هذين الحامضين الامينيين هما المشاركان في آلية فعل الليسوزيمية.



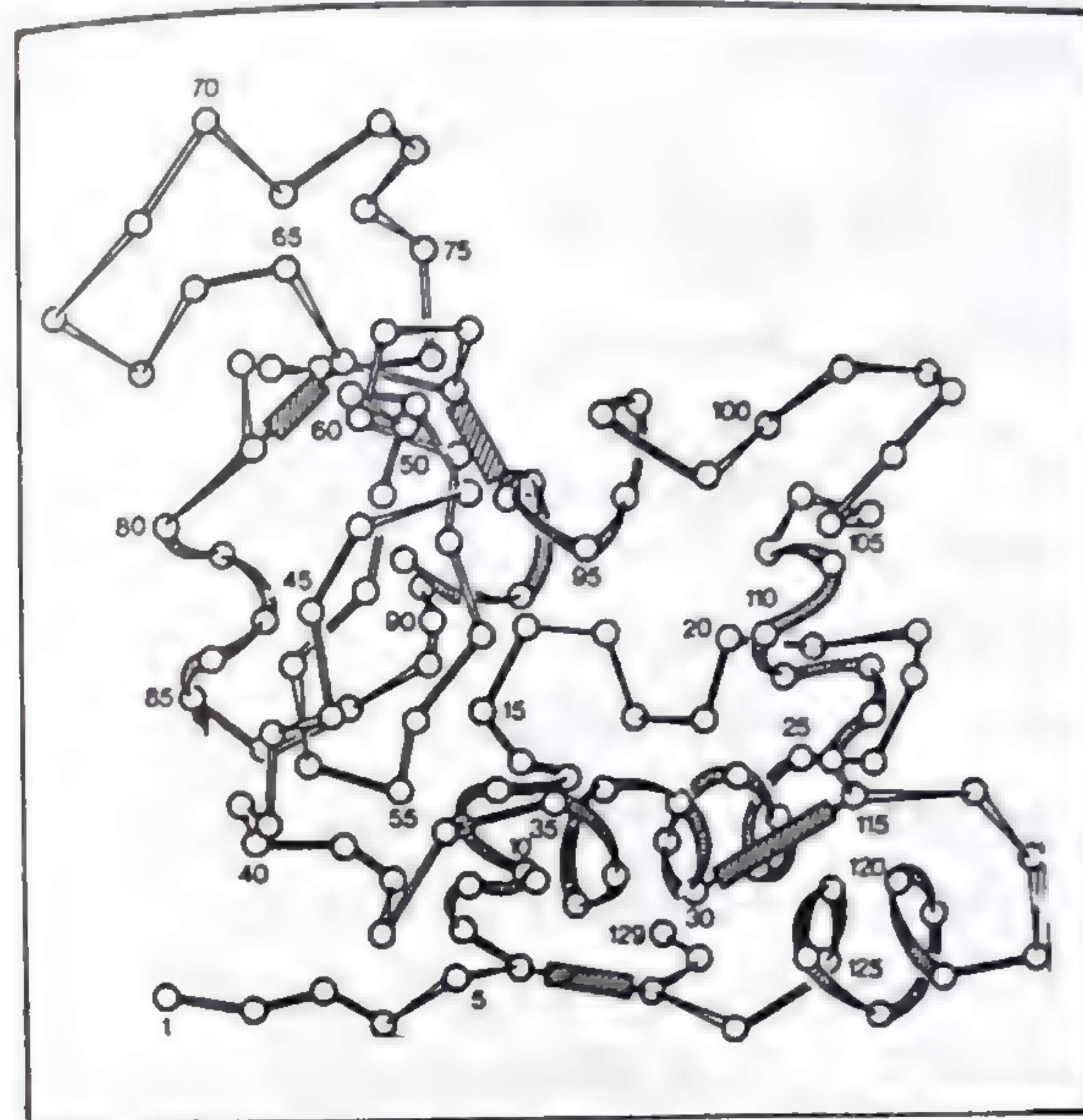
الشكل ٦/٢٠ - سياق الحوامض الامينية لليسوزيمية زلال البيض

توضح الليسوزيمية بالمثال كيف تتمكن سلسلة مفردة من البولي هضميتيد، لها طول كاف وتضم تنوعة من الحوامض الامينية ، من خالق شكل ثلاثي الابعاد ذي سطح وتوجيه صائب للحوامض الامينية تجعلها عاملا تحفيزيا متاهيا في النوعية . تبدلت الجينات السلف التي تترجمت الى هضميتيدات في اثناء نشأة الانزيمات، تبدلت بالطفرة من خلال الازدواج والاستبدال تكرارا وافضت الى تحسين الانزيمات القديمة وادخال أخرى جديدة ضنيا . لم ينشأ كل صنف من الاصناف المائة الف (١٠٠٠٠٠) أو حواليها من الانزيمات الموجودة في جسم الانسان منفصلا عن الاصناف الاخرى، وانما نشأت جميعها من الجينات البدائية القلائل التي ساهمت في تكوين الحياة.

وبهذه الطريقة تم الاحتفاظ بالمعلومات لتتشتت سياقات تامة من الحوامض الامينية واستخدامها لتصنيع انزيمات جديدة فيما اصبحت البروتينات اكبر حجما واكثر تعقيدا.

فلت آلية التبدل بالطفرة توسع اعداد وأدوار الانزيمات وكذلك البروتينات الأخرى طوال نشأة وتطور الحياة . وكلما يتم الثبت من الكيمياء التفصيلية للمزيد من البروتينات بالاساليب العصرية ، كلما تنكشف لنا عملية النشوء بمزيد من الوضوح. وقد اكتشف ان سياقات الحوامض الامينية في الليسوزيمية واللبن البومين أو اللاكتالبومين (lactalbumin) وهو أحد البروتينات الرئيسة في الحليب ، ماثلة لكن وظائفها مختلفة. وفيما تقوم الليسوزيمية بفتح رابط غليكوسيدي يتا واحد اربعة (B-1, 4-glycosidic) بين السكاكر الامينية في جدران الخلية البكتيرية ، يقوم اللبن البومين الفا (a-lactalbumin) بتسهيل أو تمهيد مهمة تمثيل رابط غليكوسيدي يتا واحد اربعة بين الغلوكوز والغالاکتوز (galactose) تكوين اللبنوز (lactose) المعروف عاديا باسم سكر الحليب. يملك اللبن البومين الشكل العام للجزيئة ، مع الموقع الفعال مستبقى ، ولكنه يضم لثريونين (threonine) عند موضع حامض الغلوتاميك الفعال تحفيزيا في الليسوزيمية . على ما يظهر نتجت جينات الليسوزيم واللبن البومين من تناسخ الجين في حوالي ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة في زمن تشعب السلالة البرمائية من الفرع الذي أدى الى نشوء الزواحف والاطيار والثدييات . ربما ان البروتينة السلالية السلف كانت تقوم بنفس الوظيفة التي تقوم بها الليسوزيمية اليوم، انما اللبن البومين اصبحت اكثر تخصصا وهو يوجد اليوم فقط في الثدي المرضعة^(٦) . (أند:ج ثدي).

للائزيمات صفتان جزئيتان تسبغان عليها قدرات رهيبة مذهلة ، هما موقع فعال يقوم بالتحفيز، ومكوّن او مقوم بروتيني (protein component) يقوم بخلق الشكل البدني أو المادي الذي يتقبل الطبقات السفلية النوعية . لم تكن الخلية البدائية الناشئة عن الكيمائيات ما قبل الحيوية لتملك القدرة على تمثيل بولي هضميتيدات كبيرة ولا الدقة النوعية التي تملكها الالزيمات المعاصرة . فلا بد ان كفاءة الالزيمات تطورت بفعل الالتقاء من خلال تطور البروتينات وازديادها في الحجم والارتقاء، غير أن عملية التحفيز كانت ضرورة لتتيح للخلية الارتقاء فوق السواد العادي للتفاعلات الكيميائية.



الشكل ٧/٢٠ - جزيئة الريبونوكلياز . المستطيلات المخططة قطريا تشير الى جسور ثنائي الكبريتيد الرابطة لاجزاء من سلسلة البولي هضميتيد . اما الاقسام الاخرى المخططة باطنيا فتشير الى لولب ألفا .

والالزيمات التي تتألف من سلاسل البولي هضميتيد فقط تقع في الاقلية، فان معظمها تتضمن في موقعها الفعال مجموعة من الالزيمات المساعدة (coenzymes) تقوم بوظيفة التحفيز . توجد مواد كثيرة من شأنها تحفيز التفاعلات الكيميائية كايونات المعادن المتعددة التكافؤ، ومشتقات الايميدازول (imidazole) وبعض المركبات اللامتجانسة الدائرية (heterocyclic)، فتحتوي مجموعات كبيرة على هذه المكونات الثانوية المساعدة لانشطتها . وهذه الالزيمات المساعدة هي محفزات او عوامل تحفيز لاصناف معينة من التفاعلات الكيميائية لكن بدون المكون أو الجزء المكون (component) البروتيني الملازم، انما ليست محفزة لجزيئات عضوية معينة وتنقصها النوعية الضيقة للالزيمات.

بدأت الحياة من تجمع للمواد في البيئة البدائية، ولم تكن توجد آنذاك اية بروتينات ما قبل الحيوية، لكن الخلايا الناشئة اتخذت بكيفية ما آلية خلوية بسيطة أطلقتها في طريق تمثيل البروتينات بهدف الرفع من القدرة التحفيزية . يوجد ما يحمل على الاعتقاد بأن هضميتيدات ما قبل الحيوية كانت متوفرة (٧)، وعلى ما يظهر بدأت الخلايا البيولوجية بمحفزات مشبوكة بهضميتيدات صغيرة نسبيا كانت متواجدة في البيئة .

ان الفريدوكسين من اوضح الامثلة على انزيم بدأت صغيرة وتطورت بالحجم والقدرة على مر الدهور . هذه البروتينة الحديد-كبريتيدية جوهرية الضرورية لاختران الطاقة الملتقطة من ضوء الشمس ونقل الالكترون . وبحسب رأي دايهوف (٨) ربما ان الفريدوكسين السلف كان تشبيكة من كبريتيد الحديد الثنائي التكافؤ مع هضميتيدة تتألف من اربعة حوامض امينية هي: الالانين ، والغلايسين، وحامض الاسبرتيك، والسيرين . هذه هي اربعة من الحوامض الامينية الاكثر شيوعا المتكونة في تجارب الافتعال ، ويتم اتاجها بسرعة وسهولة بتسخين سيانيد الامونيوم .

الفصل الحادي والعشرون - تجبير الجينات

ربما لم يكن التواجد ما قبل البيولوجي لبولي هضيتيدات كبيرة ضروريا لنشأة خلية حية ، لكن البولي نووتيدات كانت بالحث جوهرية الضرورة . من الصفات الاساسية للمنظومات البيولوجية التي تجعل الحياة ممكنة هي تناسخ حوامض النوويك وترجمة بنياتها الى بروتينات . تبقى جميع المحاولات المبذولة لابتكار منظومات تكاثرية غير مبنية على حوامض النوويك وكان يمكن ان تكون قد سبقت المنظومات البيولوجية الى التواجد ، غير مقنعة . ويبدو انه لن يتسنى حل لغز نشأة الحياة الا عندما يتسنى ابتكار اسلوب يوضح بالمثال المشهود كيف امكن أن تتبلر النووتيدات في الاحوال ما قبل البيولوجية على الارض البدائية .

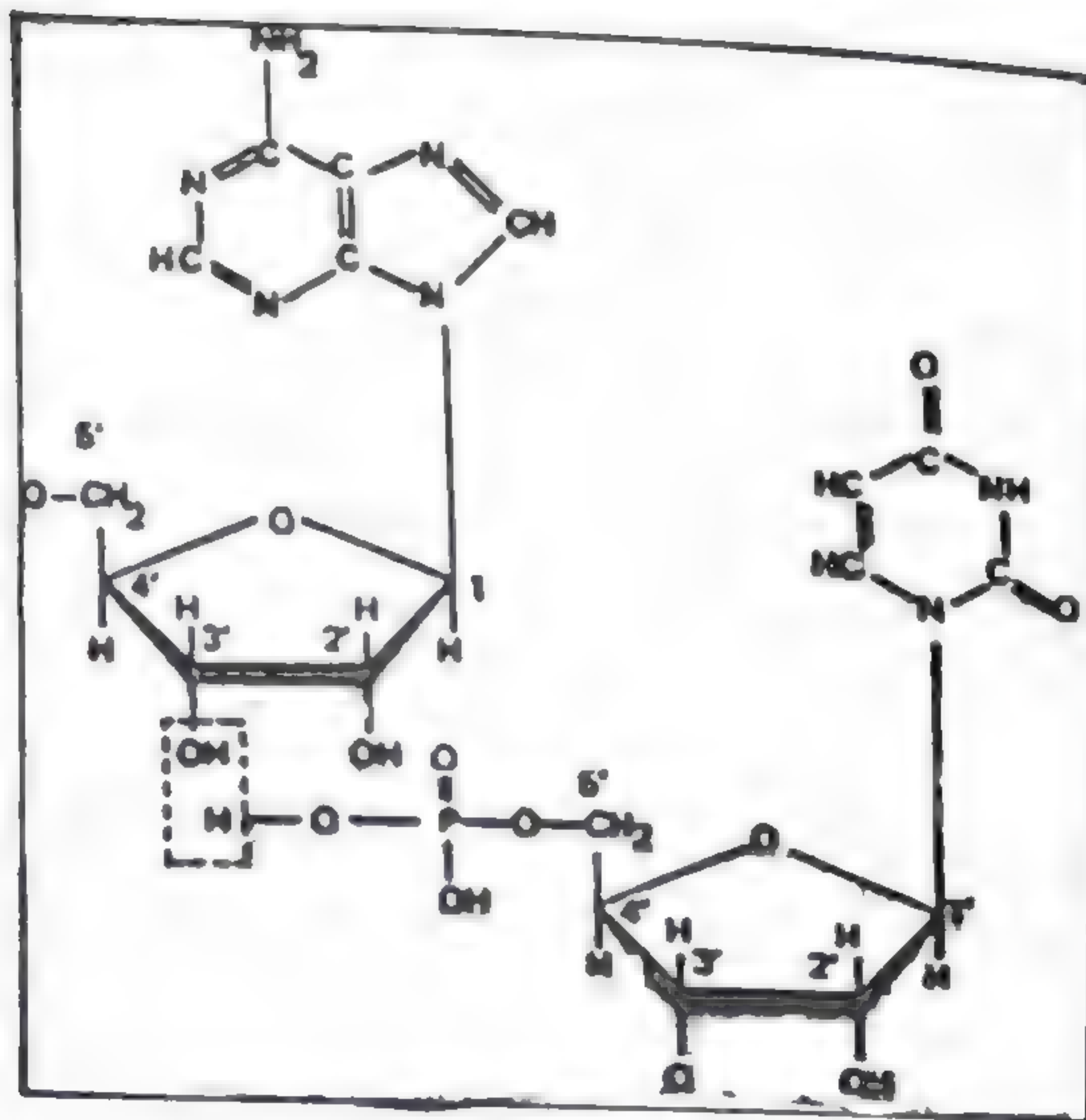
توجد اربعة اصناف رئيسة من النووتيدات هي : الحوامض الادنييلية (adenylic AMP) ، والغوانيلية (guanylic GMP) ، والسيديلية (cytidylic CMP) ، واليورديلية (uridylic UMP) . كل نووتيدة هي وحدة مشيدة من قاعدة بيورين وبيريميدين ، وسكر خماسي الكربون (5-carbon sugar) وحامض الفوسفوريك . والنووتيدة التي تنقصها مجموعة الفوسفات تسمى بالنووسيدة . وفي وصف النووتيدات يجري ترقيم مجموعات الهيدروكسيل في الريبوز لغرض تأثير موضع ارتباط الفوسفات . في حوامض النوويك ترتبط النووتيدات معا في جزيئات بوليمرية شبه سلسلية بواسطة جسر فوسفاتي بين موضع (3' = 3) من سكر احدى النووتيدات الى الموضع (5' = 5) من المونومر المجاور ، والنووتيدات التي تشكل الدنا تختلف عن تلك التي تشكل الرنا بانعدام الهيدروكسيل في الموضع (2' = 2)

في الريبوز، ولذلك تسمى حصة السكر ٢-دي اوكسي ريبوز (2-deoxy ribose) وحامض الذي اوكسي ادنيك (deoxyadenylic acid = d-AMP) ونووتيدات الدنا: (DNA) الأخرى مؤشرة بالبادئة (دي - de)

كانت مهمة الباحثين في دراسات نشأة الحياة ايجاد حالة جيولوجية طبيعية كان يمكن فيها ان ترتبط النووتيدات نهاية بنهاية (end-to-end) خالقة بذلك حوامض نوويك ما قبل البيولوجية . يأتي ليزلي اورجيل (Leslie Orgel) من معهد صولك وجماعة خوان اورو (Juan Oro) من جامعة

هيستون بين الباحثين الذين لا يزالون يبذلون الجهود لايجاد تمثيل لا حيوي للبولى نووتيدات في احوال افتعالية ليئة الارض البدائية.

كما بالنسبة الى الحوامض الامينية ان بلورة النووتيدات هي تقاعسل تجفيفي يتوجب فيه نزع جزيئة من الماء من كل رابط يتكون بين مونومرين اثنين . للاسف، تصبح المسألة عسيرة باللاتفاعلية النسبية لحامض الفوسفوريك وعجزه عن تكوين رابط ايستر مع هيدروكسيل السكر، فلا يمكن تكثيف النووتيدات بمجرد التخزين بسبب التحطم الحلحراري (pyrolysis) تحليل او تفسخ المادة كيميائيا بالحرارة) الذي يحصل قبل تكون الايستر. وقد جرى تكثيف بعض النووتيدات باستخدام مفاعلات^(١) مختبرية، انما بقيت مشكلة اكتشاف الظروف الطبيعية على الارض البدائية التي كان يمكن فيها ان تكون بولى نووتيدات لا حياتية، واستدعى حل اللغز اكتشاف سر الطريقة التي كان يمكن للنووتيدات ان ترتبط معا بها لتكوين الجينات للخلايا الاولى.



ليست النووتيدات مجرد كيميائيات عادية . فهذه الوحدات الكيميائية المتكونة من ارتباط البيورين أو البريميدين بمجموعة من حامض الفوسفوريك والريبوز تتضمن خواص فريدة تعطيها سلوكا كيميائيا نوعيا ابتنت عليه الخلية الحية . واحدى هذه الخواص هي امكانية تنشيط المونونووتيدات الى مشتقات البولى فوسفات بمزيد من الفسفرة ، وبهذه الطريقة يتم خلق وحدات فوسفاتية عالية الطاقة لحمل الطاقة الكيميائية (high-energy phosphate carriers of chemical energy) لكن مفذاذية النووتيدات هي ان الترابط الهيدروجيني بين الازواج المتامة القاعدية يقدم آلية صحيحة التوجيه ضمنية لتصنيف النووتيدات هي بالاصل أساس قدرتها على التناسخ وعلى ترجمة بنيتها من خلال المدونة الجينية.

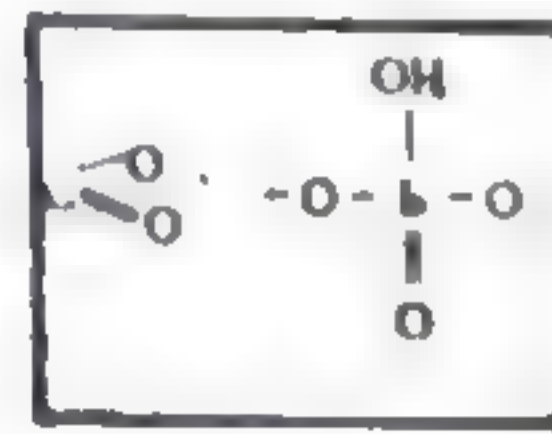
هذا التفاعل بين البيورينات والبريميدينات من خلال الترابط الهيدروجيني هو الأساس الجزيئي للكثير من الانشطة البيولوجية للحوامض النووية. ان الرابط الهيدروجيني ذو طاقة منخفضة تقع في زهاء خمس (5/1) طاقة الاربطة الكيميائية العادية لكن مع سلاسل البولي نووتيدات مقترنة بأوهان مزدوجة يمكن أن تكون قوة الشد كبيرة بمجرد فعل الربط المتراكم. كما ان الازدواج القاعدي ايضا نوعي للغاية ، فالقوانين يتحد مع السيتوسين والادين مع اليوراسيل ، وهو انتظام ذاتي ضمني يلزم الطبيعة الكيميائية للجزيئات.

ان التصنيف أو التوجيه الصحيح للنووتيدات في مواضعها قبل التكثيف خطوة لها اهميتها في عمليات البلمرة البيولوجية واللايولوجية . عندما قام كورنبرغ وآخرون^(٢) بضرب المثال على انه يمكن تشييل حوامض النووية خارج الخلية الحية باستخدام الانزيم بوليمراز (polymerase) وايونات المغنسيوم العاملة على ثلاثي فوسفات النووسيد ، اعلنوا ان البلمرة كانت بطيئة جدا الا اذا اضيف اليها حامض نوويك مشيعل (primer) ليعمل كقالب مطبوعة او مرسومة (template) .

كان هذا التراصف الذاتي للنووتيدات هو الذي حاول ليزلي اورجيل وجماعته من معهد صولك استخدامه للاستعانة به لبلمرة النووتيدات في محاليل مائية في بحوثهم عن التكون ما قبل البيولوجي للبولي نووتيدات. أما بالنسبة الى النووتيدات فانهم اختاروا استعمال المونوفوسفات لأنها أكثر استقرارا من ثنائي وثلاثي الفوسفات وكانت لتكون أكثر انتشارا في الارض ما قبل البيولوجية . وأضافوا حامض البولي يوريديليك كمرسومة يترافف عليها الاحادي او المونوفوسفات الادنيك (AMP) لفرض تكثيفه.

لكن لما كانت مجموعة الفوسفات غير شديدة التفاعلية مع هيدروكسيل السكر لتكوين الرابط الاسهامي الثنائي الايستر (diester linkage) حاولوا ملافاة هذه المشكلة باستخدام ثنائي ايميد الكربون (carbodiimide) قابل للذوبان بالماء كعامل تكثيف .

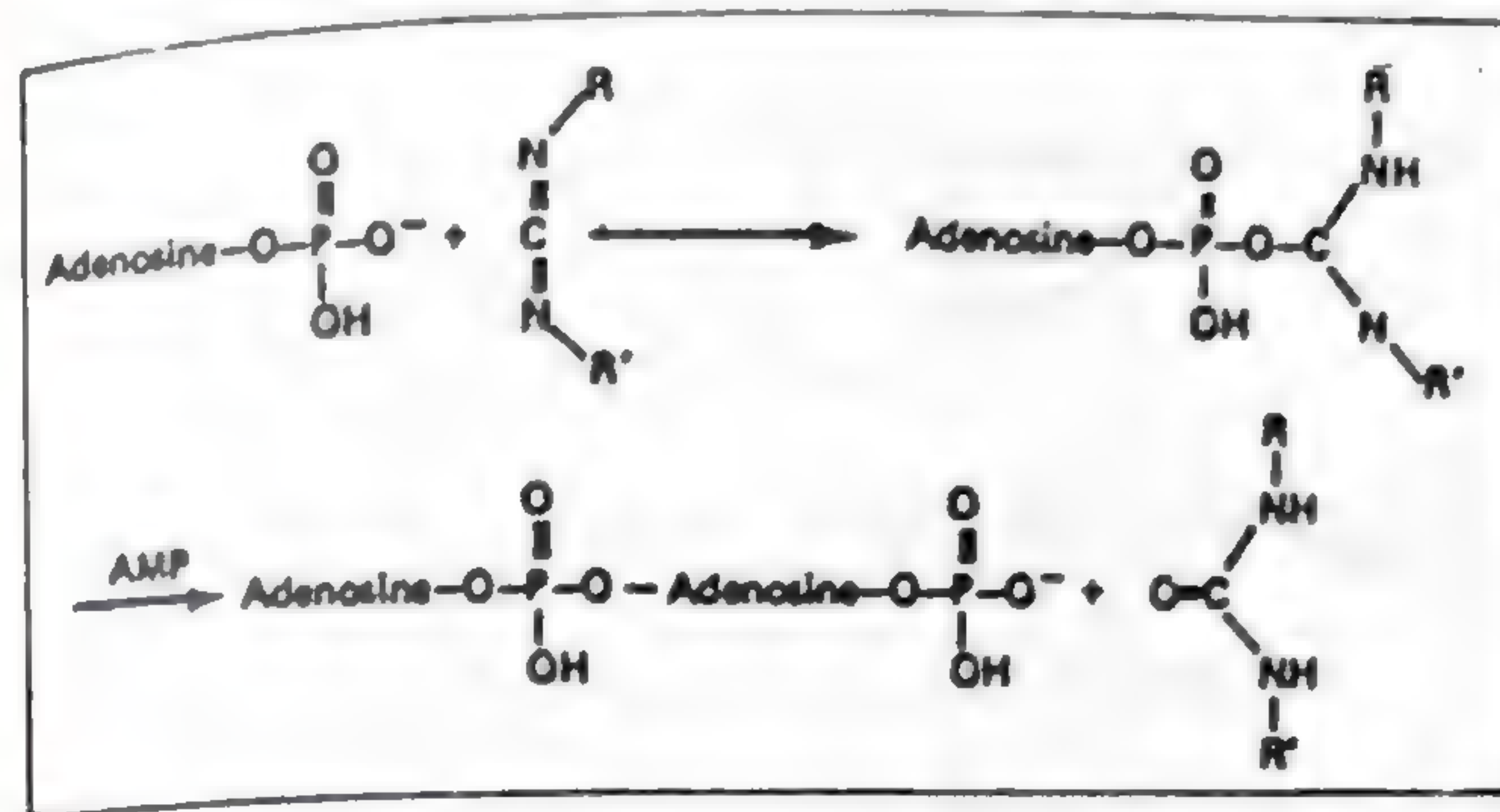
ثنائي ايميدات الكربون هي معاملات (reagents) مخبرية تشابك مع المجموعات اللايونية لتشكيل مشتقات منشطة تتفاعل بسرعة مع الهيدروكسيلات أو الامينات (amines) لاتتاج الاسترات أو الامينات المعنية. على سبيل المثال:



وأبانت نتائج التجربة مع احادي فوسفات الادنيك (AMP) على حامض البولي يوريديليك مع ثنائي ايميد الكربون ان اقتران جزيئات ال AMP حصل وكان مستحسا بالمرسومة لكن التفاعل كان ضعيفا للغاية . زيادة على ذلك لم تكن الثنائيات dimers = di = ثنائي، و mer كاسعة لتشكيل البادئة ، على غرار (poly-mer) التي تكونت من الترابط الاسهامي (3، 5-linkage: 3، 5- linkage) الموجود في حوامض النووية ، وانما خليطا من ثنائي نووتيدات ذوات اربطة (2، 5- and 5,5-)

حاول اورجيل وجماعته سبيلا آخر. بدلا من استخدام المونوفوسفات اللاتفاعلية نسبيا، اعتمروا الآن على استخدام المشتقات المنشطة للنووتيدات كمواد الانطلاق، معللين ذلك ان عندما تقوم المنظومات البيولوجية بصنع حوامض النووية تستخدم مشتقات ثلاثي الفوسفات كعوامل التفاعل . لكن

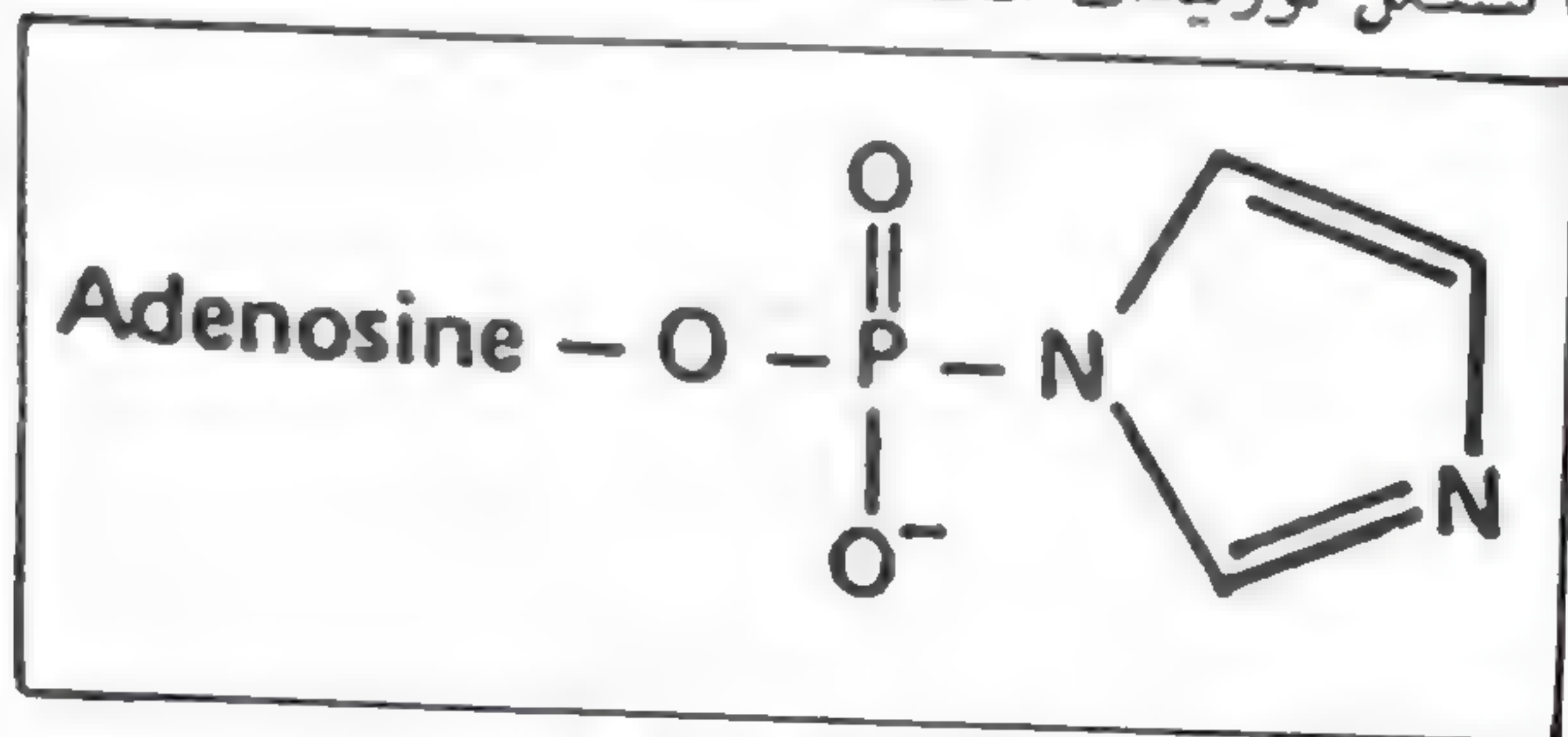
المتعضيات تملك انزيم لتفريق تفاعل البلمرة • وعند خلط الأتب مع المرسومة (template) في ماء يتضمن ايونات المغنيسيوم، كوّن الأتب شبكة لولبية مستقرة مع حامض البولي يوريديليك، ولكن بعد ذلك تحلما الى أدب وأمب (ADP و AMP) • وبدت بولي فوسفات النوسيدات مختلفة الاستقرار للغاية في الماء يمكن اعتبارها الجواب، مما دفع الباحثين الى التفتيش عن صنف آخر من النوتيدة المنشطة التي يمكن أن تكون قد تواجدت على الأرض ما قبل الحياتية وكانت أكثر استقرارا في تلك الاحوال مما هي ثلاثي الفوسفات.



الشكل ١/٢١ - فوسفوراميدات A phosphoramidate

اكتشف احد افراد الجماعة وهو ايل لورمان (L. Lohrmann) انشاء فحص سلوك الامينات، بما فيها الحوامض الامينية، عند تدفقتها مع الأتب والمغنيسيوم (Mg^{++}) في الحالة السائلة وفي الحالة الجافة، اكتشف مسلسلا من التفاعلات نادرة غريبة. تتفاعل الحوامض الامينية مع الأتب عند تواجد ما يكفي من منغ (Mg^{++}) لتشكيل الفوسفوراميدات (phosphoramidates) • كما ان امينات أخرى، بما فيها الامونيا، والايميذازول

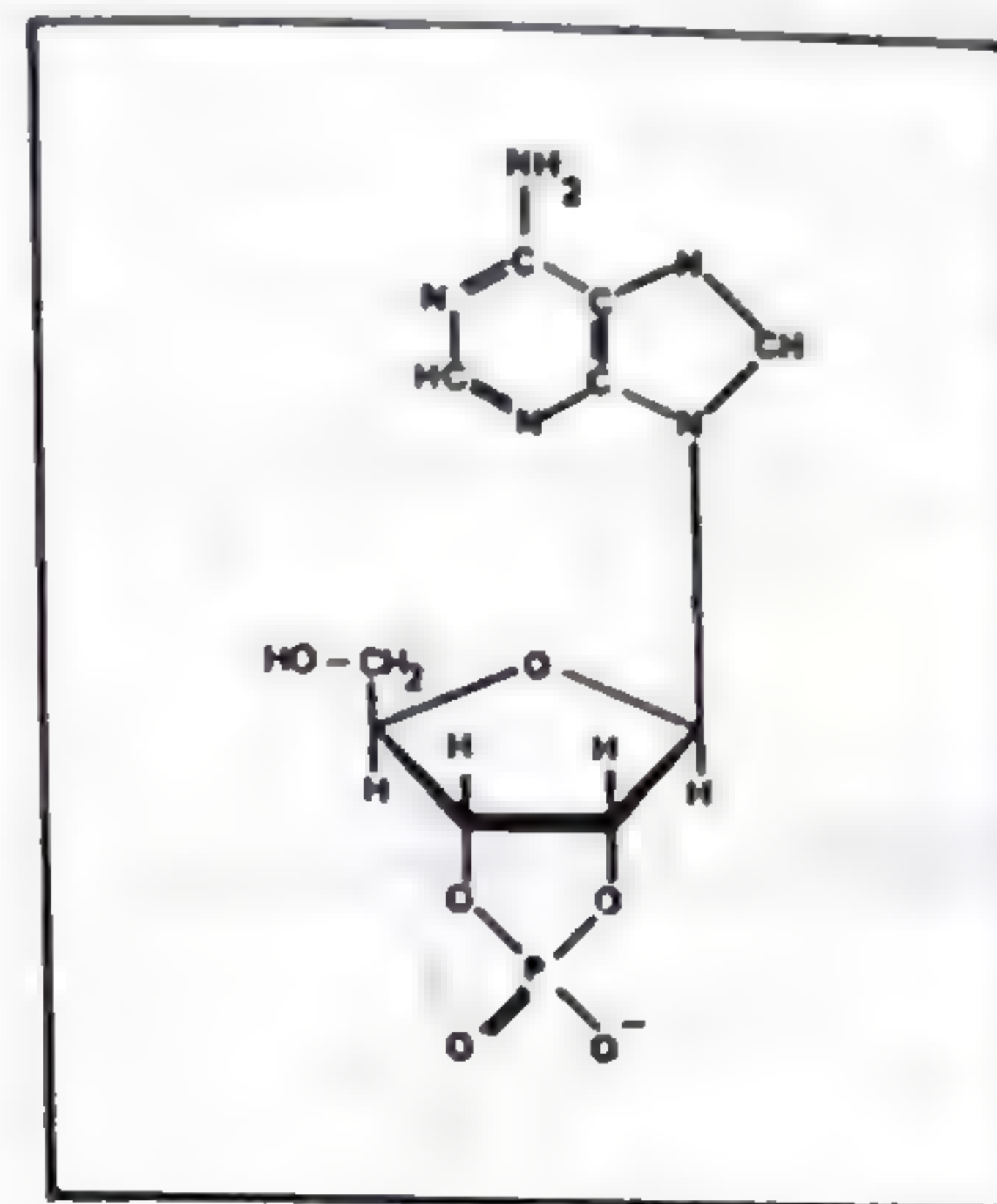
والاثيلين ثنائي امين (ethylenediamine)، ايضا اعطت فوسفوراميدات مع أتب وبولي فوسفات أخرى. تمثل أهمية الفوسفوراميدات في انها شديدة المقاومة فوق العادة للحلما في السائل القلوي مع بقائها مع ذلك منشطة مع مجموعة الفوسفات. اكتشف لورمان^(٤) أن مشتق الايميذازول من حامض الادفيليك، وهو خماسي فوسفوراميدازول الادنوسين (adenosine 5'-phosphoramidazole) يتكثف بكفاءة عالية جدا على مرسومة حامض البولي يوريديليك ليفضي الى ثنائيات (dimers) واوليفو نوتيدات اعلى • وهكذا نرى تفاعلات الحوامض الامينية او الايميذازول او امينات أخرى المحفزة بالمغ $+$ كان بوسعها ان توفر مشتقات النوتيد التي كانت تساهم مباشرة في عمليات التمثيل ما قبل الحياتي للبولي نوتيدات. والعوامل الوسيطة المنشطة (intermediates) التي تكونت على افضلها في الاحوال الجافة كانت لتكون في الحالة الصلبة وتتفاعل فيما بعد في تواجد قدر قليل من الماء لتشكل نوتيدات مكثفة.



الشكل ٢/٢١ - خماسي فوسفوراميدازول الادنوسين •

قام رتس (Renz) ولورمان واورجيل^(٥) بمزيد من التحري للتفاعل باستخدام ثنائي، ثلاثي، فوسفات الادنوسين (adenosine 2,3-phosphate)

وهو الايستر الباطني الدائري لحامض الادنيك . تشمل ثنائي، ثلاثي، الفوسفات الدائرية الناتج الرئيس في فسفرة النووتيدات المحفزة باليوريا في الحالة الجافة وكانت لتكون شكلا كيميائيا معقولا للنووتيدات على الارض البدائية ، لم تتكشف ثنائي، ثلاثي، فوسفات الادنوسين على مرسومة حامض البولي يوريديك مع ايونات المغسيوم ، لكن عندما استعوض عن الايونات بمحفزات بسيطة كالفلايسيناميد (glycinamide) أو ثنائي امين ثيلين (ethylenediamine) أو ثنائي امين البولي اثيلين، تم الحصول على نواتج جيدة من ثنائي وثلاثي النووتيدات ، ربما ان الوسيط الفعال في التفاعل كان الفوسفوراميدات الذي تكون بالنووتيد والامين.



الشكل ٢/٢١ - ثنائي، ثلاثي، فوسفات الادنوسين

حتى هذا الوقت كانت جماعة اورجيل تسعى جاهدة لايجاد السبل التي كان يمكن ان تبلمر بها النووتيدات في السائل في احوال تفتعل البحار البدائية . وذلك لأن هذه المرسومة كانت جوهرية للجمع بين المونومرات

للتفاعل . غير ان هذا الاسلوب كان سيستلزم تفسيراً للظهور ما قبل الحياتي للمرسومة . ثم اكتشف فرلاندر (Verlander) ولورمان واورجيل^(٦) ان المرسومة غير ضرورية في احوال معينة . عندما ترك خليط التفاعل من ثنائي، ثلاثي، فوسفات الادنوسين مع الامينات الالفاتية في مستوى يد قلوي ليَبخر حتى الجفاف والترخم (incubate) بدرجة حرارة (٨٥-٩٠) مئوية حصل تبلر ذاتي للنووتيد الدائري . تم الحصول على اوليفومرات حتى السداسي (hexamer) بكميات جيدة مع خمسة بالمائة (٥٪) من الناتج اكبر من طول ست وحدات . وكان طول الجينة الاولى قد تمدد الى ست وحدات فرعية .

لم يكن التفاعل المستخدم نووتيدات دائرية مقصوراً على مشتقات الادنوسين ، عند تسخين ثنائي، ثلاثي، فوسفات السيتدين في درجة حرارة (١٣٨) مئوية لمدة يومين حصل كلود تايرو (Claud Tapiero) وجوزيف ناجيفاري^(٧) (Joseph Nagyvary) على اوليفومرات بأطوال حتى السداسي في نواتج خمسين بالمائة (٥٠٪) . وهذه درجة حرارة عالية ولكنها تقع دون مستوى (١٤٠) مئوية حيث يبدأ التفسخ البطيء . وكان جيه شكودا (J. Skoda) وزملاؤه^(٨) قد اوضحوا قبلاً ان ثنائي، ثلاثي، فوسفات اليوريدين أعطت تبلراً مماثلاً .

وفيما كان كل هذا دائراً ، كان خوان اورو وجماعته في هيوستون يحاولون بلمرة النووتيدات بطريقة أخرى . كما سلف ذكره فقد تبين ان مركبات الایمیدازول عوامل تفاعل مناسبة لتكثيف النووتيدات . في عام ١٩٦٩ أعلن أو بونكرز (O. Pongs) وببي أو بي تسو (P.O.P Ts'o) وهما كيميائيان من جامعة جونز هوبكنز عن بلمرة خماسي- فوسفات الثايميدين (d-Tmp)

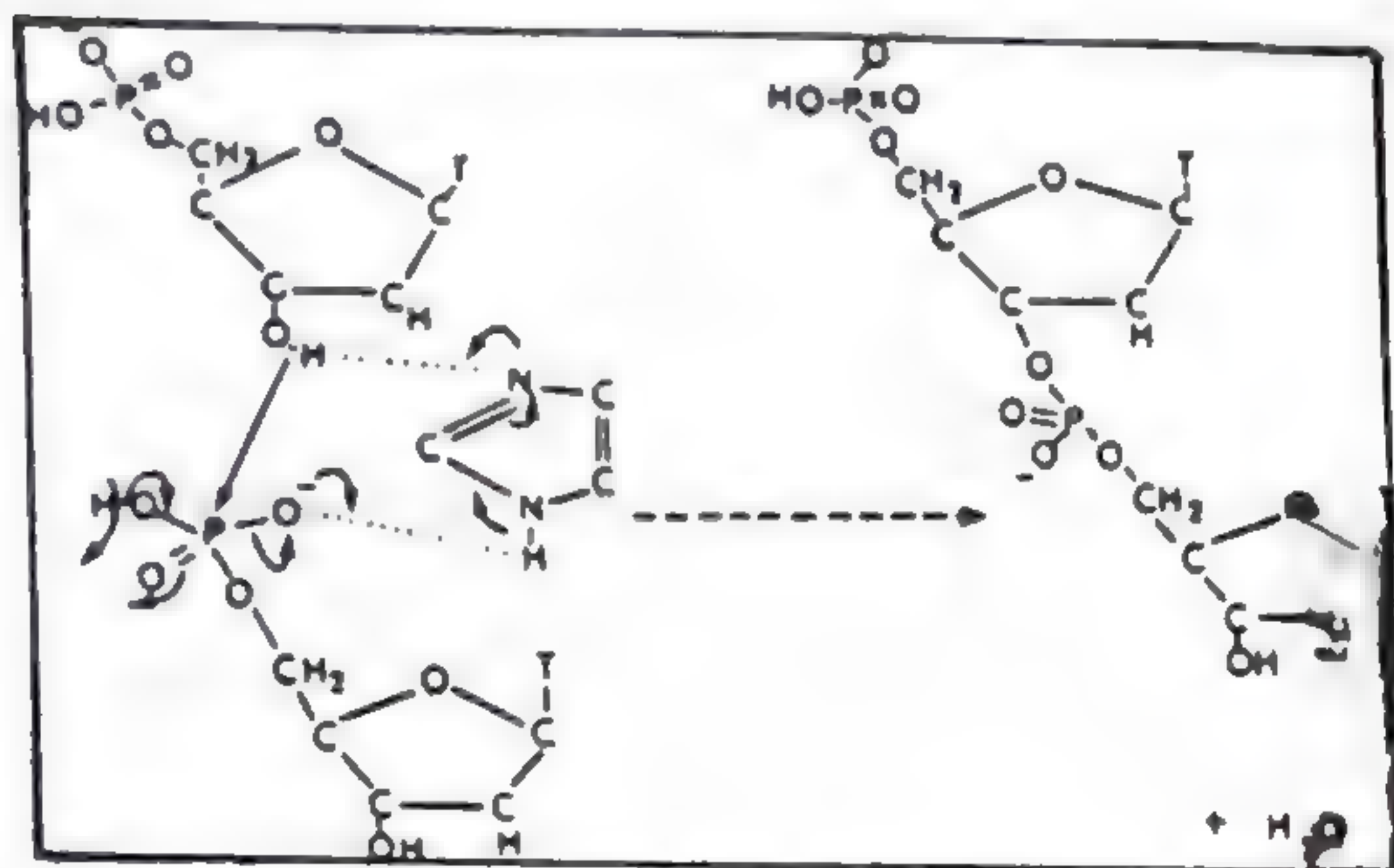
كلها الى اوليغونووتيدات ثلاثية، خاصة، الترابط (3', 5'-linked) في ناتج يتراوح ما بين اربعين الى خمسين (٤٠-٥٠٪) بالمائة باستخدام حامض رباعي (خماسي البروبانك (4(5)-propionic acid) كمحفز. غير ان احوال التفاعل استدعت اعادة الشطف او التبخير (reflux) لمدة ربع ساعة في المذيب المختبري ثنائي ميثيل فورماميد (dimethylformamide) . ورغم ان الاحوال لم تكن ذات صلة بيئية جيولوجية ، فان التحفيز والناتج كانت مماثلة للمحصلة المتوخاة من تجربة افتعالية.

ان حلقة الايميدازول ، كسلسلة جانبية للمستدين (histidine) وحدة تحفيزية مهمة في العديد من التفاعلات الانزيمية . وبما ان الحلقة الحامضية تبدر بالبرقة، أي ضخ البروتونات كخطوة بادئة، فان الانزيمات التي تحفز الطبقات السفلية بهذه الآلية تحتوي على مورد بروتون ومتقبل بروتون في موقعها الفعال . وبنية الايميدازول المتضمنة ذرتين نيتروجين مشتركين في ذرة هيدروجين مفردة في حلقة خماسية الافراد مع اربطة مزدوجة نقالة تملك القدرة على العمل كمورد وكتقبل للبروتون . والنيتروجينتان في الواقع متعادلتان ، وينقل الاربطة المزدوجة ، تستطيع الهيدروجينات الارتكاز على هذه النيتروجينة او تلك . والايميدازول يملك قدرات التحفيز لانه يتمكن توريد الهيدروجين من نيتروجينة واحدة واعادة التفاف هيدروجينة أخرى بالنيتروجينة الثانية ، وبذلك يعيد توليد البنية الاصلية في العملية.

ويفترض ان عندما يقوم الايميدازول بتحفيز اقتران جزيئي (d-TMP) يلتقف زوج الالكترونات المكشوف على نيتروجينه المفردة هيدروجينة الهيدروكسيل من الجزء التكويني دي اوكسي ريبوز مطلقا بذلك تفاعل سلسلي من تناقل الالكترونات (١٠) . يفقد فوسفات (d-TMP) بروتوناته

الحامضية (H+) من جانب وينقطع اوكسجينها اللايوني فيما تتناول هيدروجينة الايميدازول من الجانب الآخر لتشكل الهيدروكسيل (OH-) يمثل النبد المتزامن لبروتونة وايونة الهيدروكسيل فقدان جزيئة من الماء ويرتبط المونومران d-TMP في العملية.

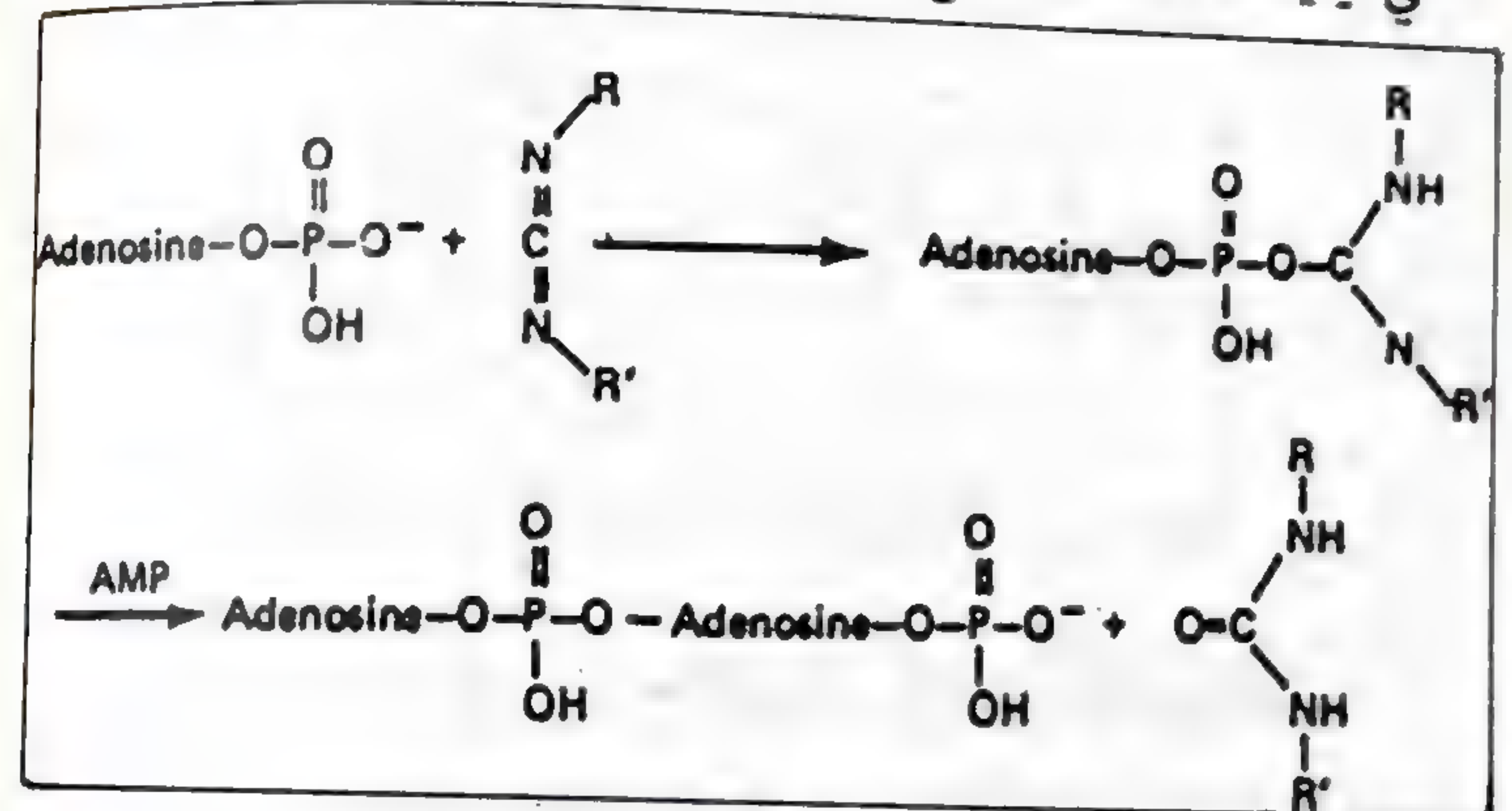
لتعديل تفاعل بونكر-تسو كنموذج للتكاثف التلقائي للمونونووتيدات، قام جيه ايبانيز (J. Ibanez) واي. بي كيمبال (A.P. Kimball) وجيه اورو (١١) باجراء تجربة هذا في درجات حرارة عالية مع d-TMP والايميدازول في الماء. وعند سطم عوامل التفاعل في أنبوبة زجاجية وترخيمها بدرجة حرارة (٩٠°) مئوية لمدة (٢٤) ساعة جاء الناتج بأوليغومرات من اطوال وحدتين الى سبع وحدات مع الترابط الاسهافي الطبيعي ٣، ٥، -ثنائي استر الفوسفات (3'5'-phosphodiester) لكن الحاصل كانت بضع نسب بالمائة في اقصاها .



الشكل ٤/٢١ - الآلية المطروحة لبلعمة d-TMP بالايميدازول.

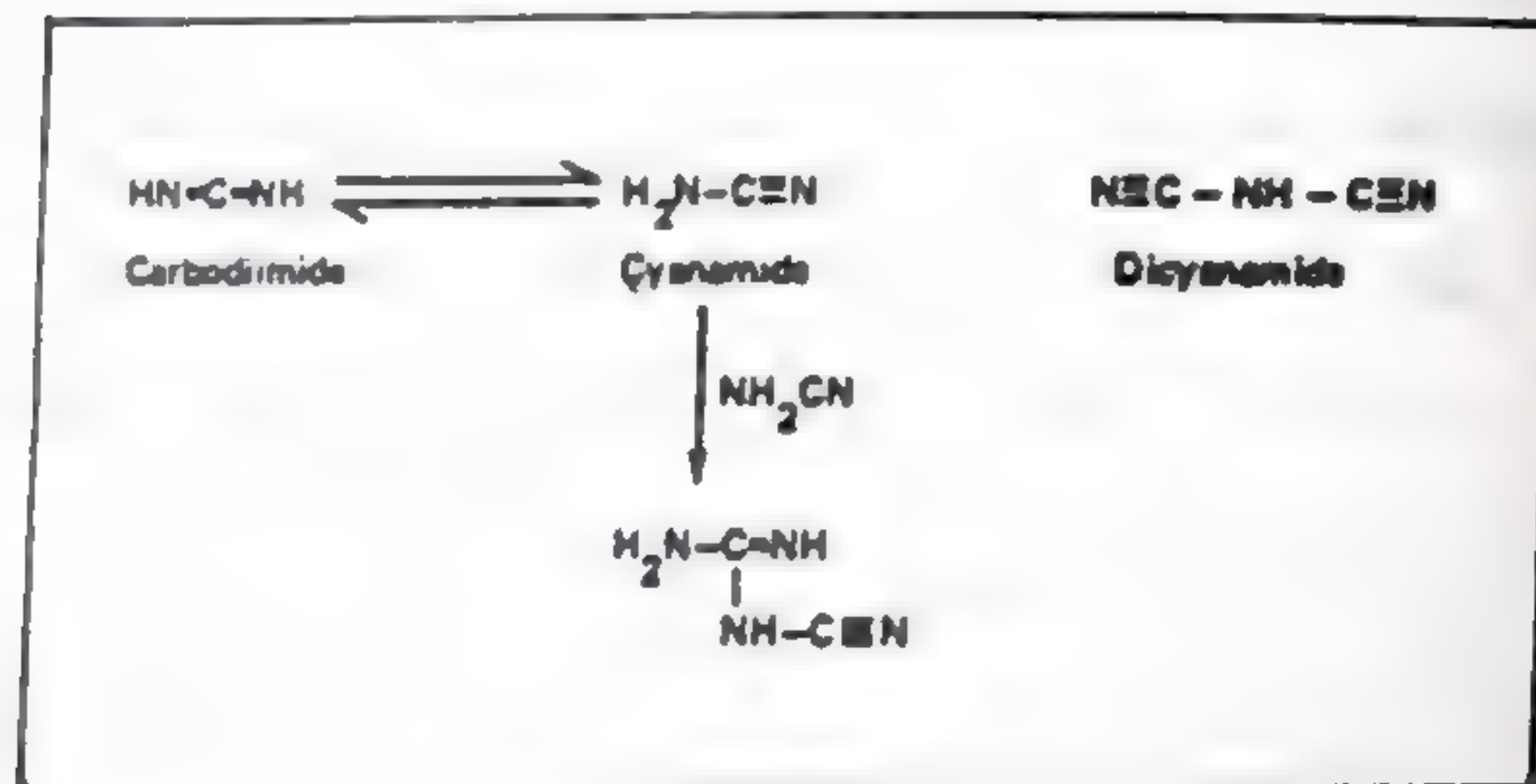
ان المشكلة في محاولة بلعرة النوتيدات في الماء هي ان ازالة جزيئة الماء من العوامل المتفاعلة ينافي الفعل الاجمالي من رجحان المذيب . مع ذلك، توجد عوامل تكثيف كيميائية يمكنها استخراج الماء من المركبات في وسط مائي، وقامت جماعة هيوستون بتحري هذه . ان صنف المركب الذي استخدمته جماعة اورجيل في البداية ، أي ثنائي اميدات الكربون ، لا يزال يستخدم كوسائل في الكيمياء العضوية منذ عقد مضي . تستخدم هذه المواد كمعامل تكثيف مناسبة ، انما بالاصل استخدمت في المذيبات اللامائية نظرا لسرعة جنوحها للتحلؤ، لكن بعد أن اكتشف ان مشتقات الملح من ثنائي الكيل امينو ثنائي اميد الكربون (dialkylamino carbodiimides)

وهي 1-Ethyl-3-(3-dimethylamino-) (propyl)-carbodiimide hydrochloride وهي قابلة للذوبان في الماء، تتفاعل اسرع مع اللايونات مما مع جزيئات الماء . وطريقة التفاعل لثنائي اميدات الكربون في تفاعلات التكثيف هي اولا التفاعل مع اللايون لتشكيل شبكة التي آنذاك تتحلأ باستخراج الماء من المونومرات. (انظر المعادلة التالية). والقدر الكبير من الطاقة السائبة المتحررة من تجفيف ثنائي اميدات الكربون تدفع التفاعل.

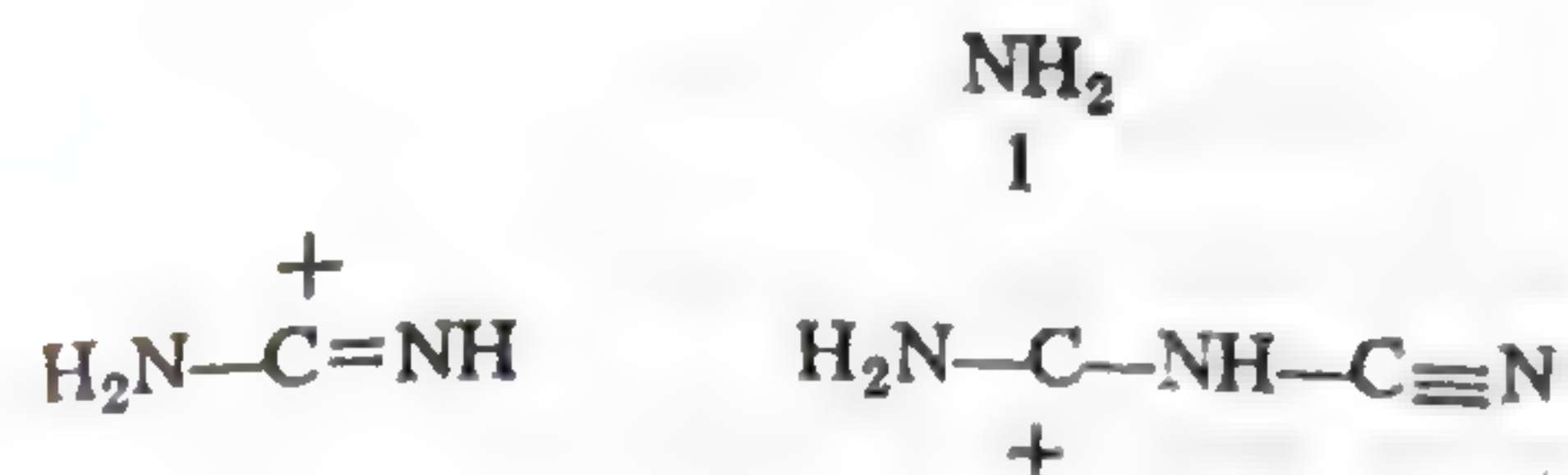


ان ثنائي اميدات الكربون (carbodiimides) كيمائيات مختبرية ولا يحتمل ان تكون قد تواجدت على الارض البدائية. اما التوتومر (tautomer) من جهة أخرى فهو سياناميد (cyanamide) وهذه مادة كيميائية يعتقد انها تواجدت بكثرة على الارض البدائية اثناء تكون لبنات البناء الحياتية . (ملاحظة tautomer : مائل كيميائي يقع متوازنا بين شبيهين او ايسومرين isomers ويتفاعل بسرعة لتكون أي منهما). والسياناميد وثنائية (dimer) داي سياندياميد (dicyanadiamide) الذي يتكون في السوائل القاعدية ، والداي سياناميد (dicyanamide) وهو مشتق آخر للسيانيد (cyanide) هما عاملا تكثيف ابسط من الكاربوداي اميدات ولا يستبعد تواجدهما ومساهمتهما في تفاعلات التكثف ما قبل الحياتية في الارض البدائية . يتكون السياناميد بفعل الاشعاع ما فوق البنفسجي على المحاليل المائية من سيانيد الامونيوم . ليس التفاعل عالي الكفاءة لكن وجود الهاليد (halide) يؤدي الى تحسين الناتج بألية ليست مفهومة جيدا . وبالنظر الى احوال التفاعل فانه من المعقول أن تكون قد تكونت كميات كبيرة من السياناميد وتوفرت في الارض البدائية لتعمل كعامل تكثيف.

dicyandiamide



بما ان النوع الفعال من السياناتيد والدايسياندياميد (cyanamide, dicyandiamide) هو كاتيون (cation) فان فائديهما كعامل تكثيف اشد فعالية في محلول حامضي بمستوى (٢) . (انظر المعادلة التالية).
ربما ليس لمثل هذه المستويات المنخفضة من (٢) اية صلة جيولوجية لكن التفاعل يحصل ايضا على مستويات من (٢) اعلى الا انه ابطأ بكثير.
عند استخدام السياناتيد كعامل مكثف مع الايميدازول كمحفز، امكن تكثيف d-TMP الى اوليغومرات وصل طولها حتى خمس وحدات (١٢)، لكن النتائج من تفاعلات المحلول حتى في درجات حرارة مرتفعة لم تكن مشجعة . كانت الحصائل منخفضة وبدأت احتمالات تمديد تفاعل التكثيف الى ابعد من مجرد بضع وحدات غامضة.



في هذا الاوان اكتشف ان حالة واحدة كانت مؤازرة للبلمرة ، فقد كانت النتائج تأتي أفضل باستمرار كلما تبخر خليط التفاعل حتى الجفاف . وقدم هذا دليلا الى كيفية امكان حصول بلمرة النووتيدات، ليس في البحار البدائية بذاتها انما في احوال التجفف في البحيرات المتبخرة وجفاف الاخوار البحرية، او حتى في جفاف وتحمص محاليل المتفاعلات المتشظشة على الصخور او المنبسطات الطينية في حواشي الاحواض البدائية.

قام آي ستيفن شروود (E. Stephen-Sherwood) ودي جي اودوم (D.G. Odom) العاملان مع اورو (١٣) بتمديد تفاعل تكثيف الـ TMP

بإضافة بعض ثلاثي الفوسفات اليه . استعمل هؤلاء السياناتيد كعامل تكثيف مع اضافة AICA كمحفز، وهو أحد مشتقات الايميدازول الوسيط في تمثيل البيورينات من سيانيد الامونيوم . عند تعريض المتفاعلات لاحوال التجفيف وترخينها بدرجة حرارة (٦٠-٩٠) مئوية تم الحصول على اوليغومرات بلغت حتى اربع وحدات في الطول . والفائدة من خليط النووتيدات هي ان حصيلة الاوليغومرات لم تعد تأتي صغيرة وانما فعلا بحدود (٢٥-٣٠) بالمائة ، أي أكثر من عشرة اضعاف مقاديرها من استخدام المونوفوسفات بمفردها.

مع ذلك، بالرغم من النجاح في تكوين الاربطة ما بين النووتيدات (internucleotide bonds) في احوال مشابهة لتلك التي تتواجد على الارض البدائية، الا أن مدى البلمرة بقي ضيقا ضيلا، واضيق بكثير مما يمكن معه تصور حصول أي تجمع يؤدي الى تكوين خلية وظيفية . بدا كأنما الطبيعة كانت شديدة الحرص على كتمان سر فعلها العظيم ولم تكن لتدعه يقع الا بعد مشقة بالغة . كيف اذن امكن للبولي نووتيدات ان تبلغ من الكبر ما أعانها على اجتياز عتبة الحجم لتعمل في خلية وظيفية ؟

كانت البحوث على البولي نووتيدات موجهة الى ايجاد الاحوال التي كان من شأنها تنفيق بلمرة النووتيدات الى سلاسل طويلة لتعمل كجينات بدائية، انما النتائج حتى تاريخه كانت قد ابانت انه كان بامكان اوليغونووتيدات بأطوال ست الى ثمان وحدة ان تتكون في الاحوال البدائية ، لكن أحدا لم ينجح في انتاج سلاسل اطول منها بكثير . مع ذلك، فقد نجحت الطبيعة بطريقة ما في خلق بولي نووتيدات ذوات اطوال تكفي لتؤدي في النهاية الى تشغيل آلية التمثيل البروتيني .

هناك الكثير مما يدعو الى الاعتقاد بأن الطرائق الكيميائية التي

استخدمتها المنظومات البيولوجية لم تكن تطورات صدفة ، وإنما نشأت من
تبنى تفاعلات كيميائية عادية . ومغزى هذه النظرة هو ان لما كانت عمليات
الحياة قد تطورت من خطوة الى أخرى في مسلسل متواصل ، فربما انه من
الممكن تتبع ملك النشأة لاكتشاف كنه التفاعلات الكيميائية التي عملت
كطلائع لنشأة العمليات البيوكيميائية التي تستخدمها المتعضيات الحية.

يبدو ان النوتيدات لم تبلمر من فورها في سلاسل طويلة . لا بد ان
تواجد جهاز اتاح نمو السلاسل الطويلة بطريقة نظامية . كما ورد البيان سابقا،
يبدو ان التكثف ينال عونا عند توجيهه على مرسومة، رغم انه وجد ان هذا
لم يكن شرطا في الاحوال المتجففة . الا انه من الممكن تماما ان تكون البولي
نوتيدات الطويلة السلاسل الابتدائية قد نشأت على الارض ما قبل الحياتية
بنفس المنوال الذي لا تزال المتعضيات تقوم بتمثيلها به اليوم، أي كجزئية
مزدوجة الوهن.

عندما تقوم الخلايا المعاصرة بنسخ الدنا (DNA) تقوم بشرط الجزئية
المزدوجة الوهن وتكثيف النوتيدات الموجهة في الاوهان المفردة للدنا
لنسخ الدنا من جزئته المزدوجة الوهن بدون سابق مهده اليه ، وبالأحرى
لا بد ان الاستساخ جاء كسمة استمرارية من الكيمياء ما قبل الحياتية . بعبارة
أخرى، ربما ان البولي نوتيدات لم تنشأ كمنتجات تكثف مفرد وإنما
كجزئات مزدوجة الوهن.

كانت المسألة المؤدية الى الجينات الاصلية لأول خلية وظيفية مماثلة
للمشكلة التي واجهت ايج جي خورانا (H.G. Khorana) وزملاءه^(١٤) في جامعة
ويسكونسن ومعهد ماسشوسيتس للتكنولوجيا عند بحثهم عن وسيلة لتمثيل
جينة . لم تقم جماعة الباحثين بمحاولة بلمرة جزئية طويلة مفردة بتكثيف
المونومرات الواحد تلو الآخر بهدف تصنيع جينة تدون للرنأ ناقلة تيروسينية



(tyrosine transfer RNA) بل قامت باعداد (٣٩) شظية طول كل منها (١٠-١٥)
نوتيدة . تم اختيار الشداف بحيث تمتد قطعة قصيرة لاوليغومر من الآخر
عند جعل الشظيتين المتامتين تكوّنان تشبيكة مزدوجة الوهن . وبعد ذلك
عمل هذا القسم الممتد كجيرة يمكن بها تشبيك شظية متصلة للاقتران بدنا
الانزيم ليغاز او وتراز (enzyme DNA ligase) . بهذه الطريقة ، باضافة
اولا وهن واحد ثم آخر تمكن الباحثون من تشبيد حامض نوويك مزدوج
الوهن كاملا بطول كلي يبلغ (٢٠٧) نوتيدة.

هذه هي الكيفية المحتملة التي ربما جاءت البولي نوتيدات ما قبل
الحياتية بها الى الوجود. تدل نتائج التجارب الافتعالية للاحوال التجفيفية
على الارض البدائية ، ولا سيما بوجود مشتقات السياناتيد كعوامل تكثيف،
على ان اوليغومرات قصيرة تكونت بسرعة من النوتيدات، ولكن لم تكون
اية اوليغومرات طويلة . ومع نشوء تنويع من الاوليغومرات بفعل تكرار
غمر قيعان البحيرات البدائية وجفافها يبدون المعقول ان يكون قد تم لاحتفاظ
اتقائلا بالاوليغومرات التي كان بوسعها أن تشكل اقوى التشبيكات (أي
تلك التي تضم ازواجا قاعدية متتامة) . ومتى ما تراكبت الشداف المتجاورة
فانها كانت قد اتخذت موضع الاقتران بفعل دورة التجفيف التالية.

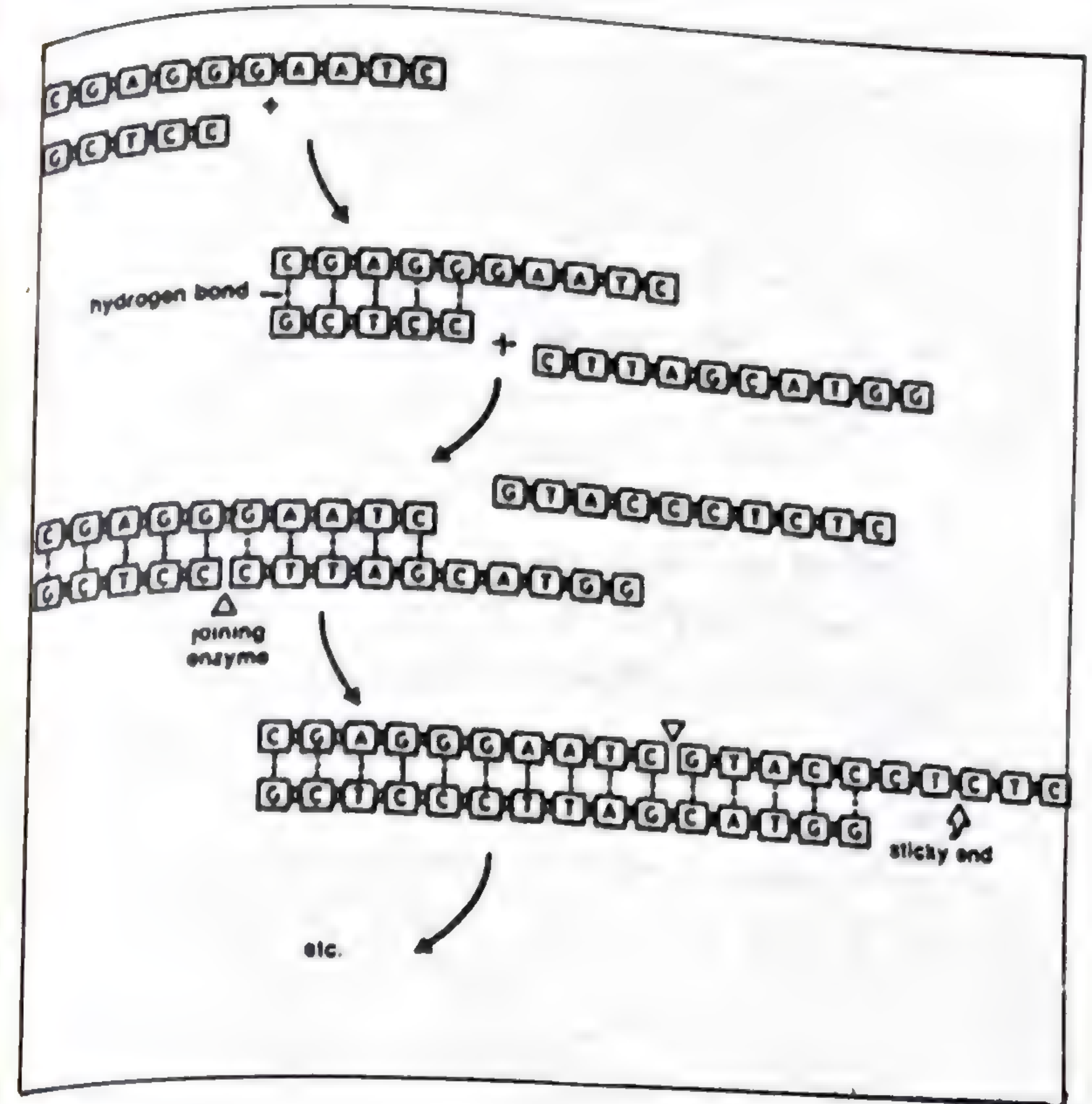


الفصل الثاني والعشرون - «جسيمات الحياة»

رأينا في الفصول السابقة الطريقة التي كان عقلايا يمكن للهمسيتيدات والبولي نووتيدات ما قبل البيولوجية ان تتكون بها على الارض البدائية . فان تراكما من هذه المكونات الكيميائية تجمع ليهيء الخطوة الختامية، ألا وهي التام الخلوية . ان حوامض النويك والبروتينات لوحدها لا تملك صفة الحياة، لأنها هامة أو ستاتية بينما الحياة حركية أو دينامية. فالخلية الحية منظومة عاملة، والانتظام الخاص للجزيئات الضخمة في بنية اكبر تعمل كجهاز ذاتي التحفيز هو الذي يصنع الحياة . وعليه فالوحدة البيولوجية تؤول الى سياق من الاحداث يتم فيها تناول المادة والطاقة لتحويلهما الى مقومات متزايدة التعقيد على التوالي في بنية ذاتية الادامة.

الى هذه المرحلة كانت التجارب المعنية بطرح الامثلة على التصنيع او التمثيل اللاحياتي للمواد البيولوجية منحصرة في نطاق الاهتمامات الخاصة بالخبراء الكيميائيين . لكن تكون الخلية يرفع نشأة الحياة الى المستوى حيث يكن لكل امرئ أن يشاهدها ككيان ذي خواص المتعضيات المجهرية . فبطريقة ما تمكنت الجزيئات الضخمة التي تكثفت من اللبانات البنائية من الالتئام معا واجتياز العتبة الى الكينونة الحياتية . لقد التحت في تربية متسقة اتخذت هيئة الخلية الوظيفية . كانت هذه قفزة كمية في الاحداث المفضية الى تكون الحياة، وقد لقيت، بحكم طبيعتها الباهرة، اهتماما خاصا.

جوهريا، جميع المواد تملك خواصا بنيوية تخلق قوى تعاشرية مع مواد أخرى، وتتجمع في تنويع لا حصر لها من التركيبات الاشكلية . لكن تراكمات المواد العضوية لا تلتئم رأسا في خلايا وظيفية ، بل تؤول في العموم الى قرارات لا متميزة . فلتشكل الخلية لابد انه حصل اتقاء للجزيئات لتراكم معا بكيفية دقيقة وصائبة لتكون الخلية الكلية وظيفية . كانت العقبة



الشكل ٥/٢١ - مخطط بياني لتمثيل جينة باستخدام بولي نووتيدات التجبير بطريقة خورانا .

الكثود ايجاد الطريقة التي سلكتها الطبيعة في جبل المكونات ما قبل البيولوجية في بنية منتظمة تفتتت بهيئة الخلية الحية.

كان الاحتواء الضرورة الابرز في تكون الخلية البدائية . فالمنظومة الحية لا تستطيع الوجود في حالة السيولة السائبة، انما فقط في التلاحم الوثيق لمكوناتها . كانت الحاجة تمس الى غلاف يضم المقومات معا وبمنفس الوقت يتيح الوصول الى البيئة المحيطة لتناول المواد الخام وفسح المجال للانقسام اثناء عملية التكاثر . في الظاهر، لزم أن يكون هذا سطح يعزل مقادير من السوائل ضئيلة للغاية عن كميات الماء المحيطة به . فما هي المواد التي وجدتها الخلية الاولى متوفرة لها في جيولوجيا الارض البدائية لتستخدمها كردائها الخلوي تبرز به من الجماد الى الحياة؟

بعد جيل من اكتشاف شفان (Schwann) ان الخلية هي الوحدة الاساسية الجوهرية للحياة ، كان الخبراء عاكفين في المختبرات يحاولون خلق خلية حية من المواد الكيميائية العادية . انما كالكيميائيين القدماء وحلمهم في تحويل المعادن العادية الى ذهب، لم يملك اولئك الباحثون الدراية اللازمة بالكيمياء الاساسية المطلوبة ، وبالنتيجة جرى تصميم نماذج بالاصل لنسخ السلوك البدني الخارجي للخلايا بدلا من الوظيفة الكيميائية.

في عام ١٨٦٧ أقام الكيميائي الالماني موريتس تراوبه^(١) (Moritz Traube) تمكن فيها من تكوين رقائق شبه انفاذية انتشارية من فيروسيانيد النحاس حول بلورات صغيرة من كبريتات النحاس وضعها في محاليل من فيروسيانيد البوتاسيوم . أبدت هذه الكرات الدقيقة التفمدية بعض ملامح النمو واعتقد تراوبه بأنه يمكن استخدامها لدراسة الخواص الكيميائية البدنية للخلايا .

ومر جيل آخر . ثم في عام ١٨٩٢ قام اوتو بوتشلي^(٢) (Otto Bütschli) باعداد نموذج لخلية حية بذلك قطرة من زيت الزيتون بمحلول البوتاس (potash solvation) . تحركت القطيرة الصغيرة المهيجة كيميائيا حول نفسها على نحو مثير والتهمت جسيمات بأسلوب يشبه الامبياء . وقام آخرون بالتوسيع على هذه التجربة وخلقوا نماذج مماثلة قامت بتقليد حركات الخلايا وتمثيل طرائق اقتها وانقسامها .

تتوجت هذه الخلايا الكاذبة عند منعطف القرن بالتجارب التي اقامها ستيفان ليدوك^(٣) (Stéphane Le Duc) الاستاذ بكلية الطب في نانتس . أقام ليدوك تجربة مماثلة لتجربة تراوبه وضع قطعة من كلوريد الكالسيوم المصهور في محلول مشبع من البوتاس وفوسفات البوتاسيوم . فتكون قيض كروي من فوسفات الكالسيوم وفيما استمر كلوريد الكالسيوم يتفاعل أدى الضغط الارتشاحي في الباطن الى تمدد الكيس ، وتمكن ليدوك بتغيير التركيزات وازافة مواد مختلفة من توليد اشكال انتضاحية رائعة شديدة الشبه بالطحالب، والفطر، وأشكال حياتية أخرى، وكان البروفسور شفوقا بتجاربه لدرجة انه اعتقد بأنه اقتحم آفاق علم جديد واطلق عليه اسم البيولوجيا الاصطناعية (synthetic biology) .

تمادي اتباع بيولوجيا ليدوك الاصطناعية في اقامة التجارب وذهبوا في استنتاجاتهم الى ما يتجاوز ادعاءات المؤسس . كان ذلك عصرا لم يكن تفهم النشاط الاشعاعي فيه قد نضج بعد، واستقبل راديوم مدام كوري كأعجوبة العلم لانقاذ العالم من ويلات الامراض . وباستخدام طاقة الراديوم المحيرة قام مارتن كوكوك^(٤) (Martin Cuckuck) بتحويل خليط من الجلوتين والفليسرول والملح الى زرعة من «الخلايا» قيل انها أظهرت جميع ملامح الحياة .

وانقضى جيل آخر قبل امكان ابتكار نموذج واقعي لخلية بدائية .
 طوال النصف الاول من هذا القرن ظل الاعتقاد سائدا ان كيمياء الخلايا
 تتبع خواص الغروانيات (colloids) ، والغروانية هي حالة خاصة للمادة تكون
 الجسيمات فيها متشرة وعالقة في وسط من طور مختلف، ويمكن ان تكون
 جسيمات صلبة او سائلة عالقة بطور صلب او سائل او غازي . والجسيمات
 صغيرة بالقياس الى مساحة سطحها الواسعة وتقوم بامتصاص الايونات والمواد
 الاخرى تباع بها خواص فريدة على المنظومة . تؤدي الشحنات الكهربائية
 يامن المواد او من الايونات المصنوعة بالجسيمات الغروانية الى مسافرة
 بعضها البعض والحفاظ على التعلق . ومن المنظومات الغروانية المألوفة هي
 المخازن والصباب والرهج وايضا الماء العكس .

وبينا هذه الغروانيات هي في العموم مواد لا عضوية تنقصها الألفة
 للماء وتبقى جسيماتها متشرة بتأثر شحناتها الكهربائية توجد غروانيات
 من مركبات عضوية تختلف عن هذه تماما . وهذه هي الغروانيات الأليفة
 الماء كالجلائين والالبومين والنشا التي تبدو انها تذوب في الماء ولكنها
 لا ترتفع من خلال الغشاء .

الجزيئات الكبيرة كالبروتينات قابلة للذوبان في الماء لأن ماء التيه أو
 التبع (hydration) يتجمع بكل بنية حول المجموعات المشحونة والقضية
 مستوية جزيئات البروتين في اشكالها المتوحد بفعل التذاوب (solvation)
 واذا جرى تغير الاحوال الى حد كبير بالتسخين مع تبديل مستوى π أو
 القوة الأيونية، أو بإضافة مواد كيميائية كاليوربا التي تصدع أو تمزق بنية
 الماء، تنفض سلسلة الهضميد مفتحة وتكون لزجة . تتغير جزيئات
 البروتين بالتكثل مما تصبح غير قابلة للذوبان (نزع الطبيعة : denaturation)



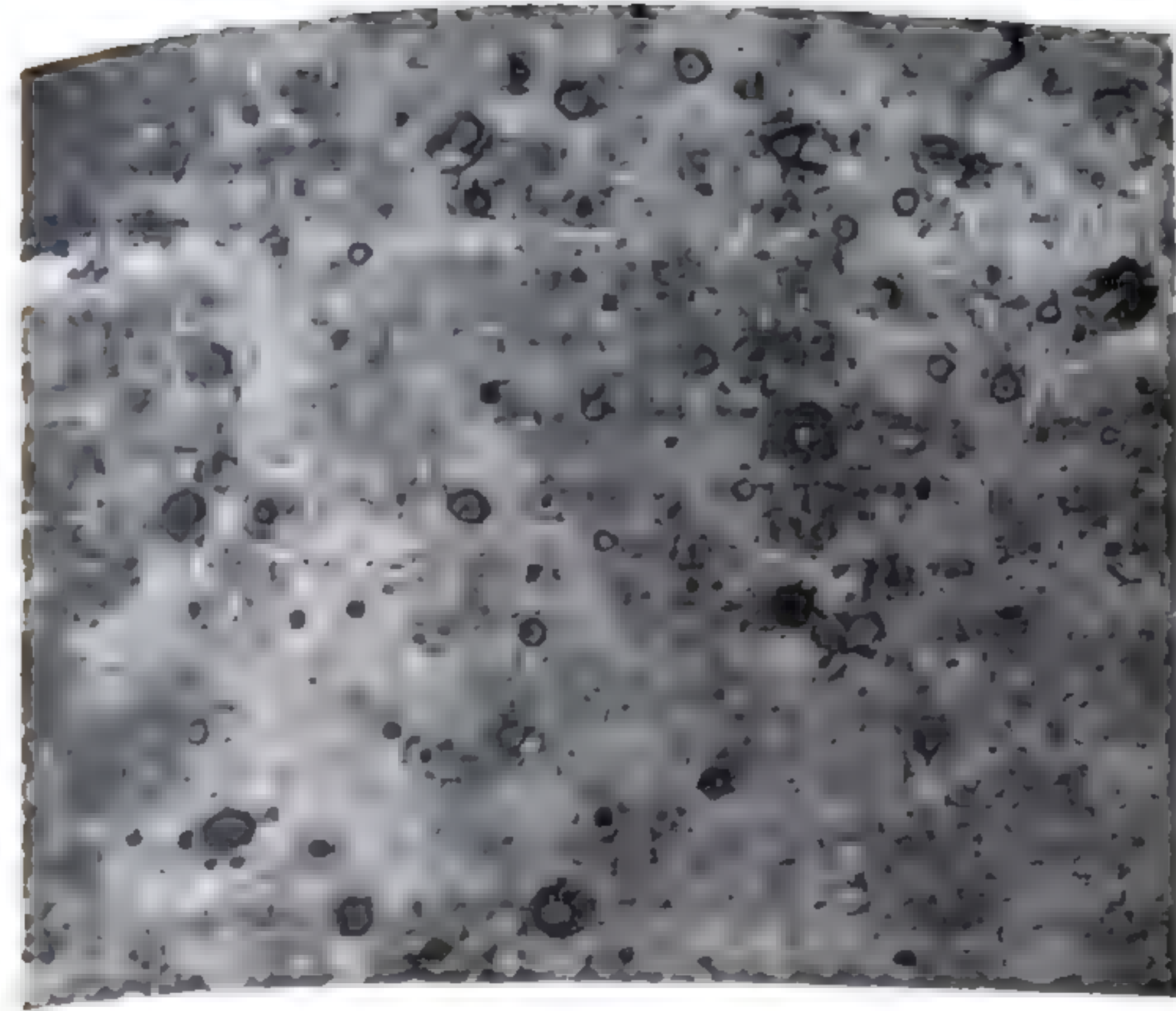
يمكن عزل الكولاجن (collagen) ، وهو البروتين الليفي الموجود في الانسجة
 الرابطة أو الضامة ، وربما أغزر انواع البروتين الحيواني، يمكن عزله كمركب
 بلوري، ولكنه يتحول الى جلاتين فور نزع طبيعته، فيكون القاعدة الغروانية
 للاصماغ .

وبما ان بروتينات البلازما كانت خلال العشرينيات من هذا القرن تعتبر
 بانها تتواجد بحالة غروانية فقد ساد الاعتقاد آنذاك بأن الجواب على مسألة
 نشأة الحياة يكمن في الكشف عن الطريقة التي تمكنت البنية الغروانية بها
 من القيام من الاحوال الجيولوجية . تامت المعلومات لمثل هذه التجربة من
 ظاهرة لوحظت للمرة الاولى في عام ١٩٢٧^(٦) وكان هندريك جي بونكنبرغ
 ديونك (Hendrick G. Bungenberg de Jong) من جامعة لايدن يقوم
 بدراستها وقدم تقريرا عنها في عام ١٩٣٢ .

كان بونكنبرغ ديونك قد لاحظ ان الغروانيات الأليفة الماء كثيرا ما كانت
 تلقائيا تشكل طورين اثنين . انفصل راسب سائل في المواد الغروانية من طبقة
 نورية خالية من الغروانية واحتفظ بالتوازن معها، فأطلق على الطور اسم انعقاد
 الانفصال (separation coacervation) وعلى الجسيمات الغروانية اسم
 الانعقادات (coacervates) . في بعض الحالات، لم تستقر المادة الغروانية من
 السائل . انما بقيت معلقة كقطيرات دقيقة في الماء، وبالنسبة كانت هذه
 قطيرات من السائل انفصلت من الوسط المحيط بطبقة رقيقة من الغروانيات
 الأليفة للماء .

وجد البيوكيميائي الروسي اوبارين في دراساته لنشأة الحياة وجه
 تشابه بين الانعقادات والخلايا الحية ، وأورد في الطبعة المنقحة من كتابه
 والصادرة في عام ١٩٣٦^(٨) مقارنة بين هذه القطيرات الغروانية وبين ناتج





الشكل ١/٢٢ - انعقادات تم اعدادها من الجلوتين والصمغ العربي.

عصر البروتوبلازم من خلايا النبات تبين ان بالرغم من القوام السائل للبروتوبلازم فهو لا يختلط بالماء ويبقى كقطيرات صغيرة عائمة في الوسط المائي.

اعد اوبارين اصنافا مختلفة من الانعقادات وأجرى دراسة لخواصها الفيزيائية والكيميائية . في الاحوال المقنة كانت الانعقادات تتكون بسرعة من البروتينات مختلطة مع بوليمرات طبيعية انتقائية أخرى . وعند خلط محلول من الصمغ العربي، وهو بولي سكاريد تجاري من شجرة الاقاقيا، بمحلول من الجلوتين في مستوى (٨٠ تحت ٨٠) حصل الانعقاد . في مستوى (٨٠ تحت ٨٠) وهي نقطة تعادل الجهد الكهربائي للجلوتين (أي تعادل الانيونات والكاتيونات) اصبحت الشحنة في البروتين موجبة بينما بقيت سالبة في الصمغ العربي . التأم البوليران ذوا الشحنتين المتضادتين وكونا قطيرات من انعقاد شبكية الجلوتين - الصمغ العربي . لقد تمكن اوبارين، باختيار مستويات تقع بين نقاط تعادل الجهد الكهربائي للبوليمرات، من تشكيل عدد كبير من الانعقادات ذوات خواص كيميائية مختلفة . كما تسنى ايضا اخذ

انعقادات من الجلوتين وليسيثين البيض (egg lecithin) ، ومن البروتينات القاعدية كالهستون وأحد حوامض النوويك ، وتشكيلات أخرى مماثلة.

أبدى اوبارين انه من الممكن ان تكون ظاهرة الانعقاد هذه قد عملت كآلية بدائية لتكوين الخلية الاولى . ثم ان الانعقادات تملك حدا (boundary) يفصل بين البيئة والوسط المحيط، اضافة الى خواص أخرى تنفرد بها ، كما انها تبدي العديد من الصفات المورفولوجية للمكتنفات الخلوية كالفجوات.

يمكن أن يحصل الانعقاد في محلول مخفف للغاية ، في تركيزات متدنية لا تتجاوز واحد بالالف (٠.٠٠١٪) (٨)، وتظهر الانعقادات خاصية الغروانيات في قدرتها على امتصاص المواد . كما ظهر ايضا ان الانعقادات المعدة من الصمغ العربي وكبريتات البروتامين (protamine sulfate) تمتص من

الوسط المحيط (surrounding medium) حلاصة بكتيرية (bacterial lysate) يتم اغناؤها بأنشطة الكاتالاز (catalase) . وبوسع الانعقادات من الصمغ العربي والهستون أو الجلوتين تركيز الغشاء من المحلول بثلاثة اضعاف ونصف (٣٥) . وعندما تكون البيتا اميلاز (B-Amylase) موجودة تتناولها الانعقادة هي ايضا وتقوم الانزيم بحلأة النشا . كما أعلن عن العديد من التجارب الأخرى كانت قد أثبتت ان الانعقادات تعمل كخلايا بدائية (١٠) .

وعلى سبيل المثال، ان اضافة اوكسيدوسريد اكاتاز البكتيري (oxido-reductase) الى خليط انعقاد يتضمن (NADred = ناد مختزل) اسفر عن اختلاق منظومة اكسدة - اختزال لا هوائية بسيطة (simple anaerobic oxidation-reduction system) علل اوبارين انه تواجدت على الارض ما قبل البيولوجية مواد

بوليمرية قامت بصنع الانعقادات التي كان يمكن أن تعمل بمثابة طلائع للخلايا الحية الاولى . انما في الجوهر جميع التجارب الافتعالية لاظهار خواص

للائعقادات شبيهة بخواص الخلايا كانت تتم باستخدام انعقادات معدة من بوليمرات بيولوجية مناسبة . ومثل هذه التجارب الافتعالية تكون ذات مغزى فقط اذا كانت قد أجريت بمقومات ما قبل بيولوجية مشروعة . فضلا عن هذا، ان الطبيعة الغروانية للانعقادات تجعلها سريعة التأثير بتغيرات مستوى وتركيزات الملح . مع ذلك، كانت انعقادات اوبارين ، وبقيت، من الفرضيات العلمية المتقدمة والمعقدة للغاية حول أصل الخلية الاولى.

هناك نماذج أخرى طرحت حول أصل الخلية . في عام ١٩٤٢ قام أي إيل هيرار^(١١) (A.L. Herron) بأعداد ما أسماه بمنافرات الكبريت أو الكبريفوبات (sulphobes) بإذابة ثيوسيانات الامونيا في الفورمالديهايد ونشر المحلول في طبقة رقيقة . وبعد مرور بضع ساعات اعلن عن مشاهدة بنى مجهرية تبدي أنشطة مائة لانشطة المتعضيات الحية . ورأى هيرار في هذه الاشكال الدقيقة التويجات التي تتكون مع الاميا واشكال الانسجة واعتقد أنه ربما كانت ذات أهمية في افتعال أصل الحياة بقوله ان الاحوال في البراكين كانت تؤدي الى اتاج ثيوسيانات الامونيوم بتفاعل معلوم من الكبريت.

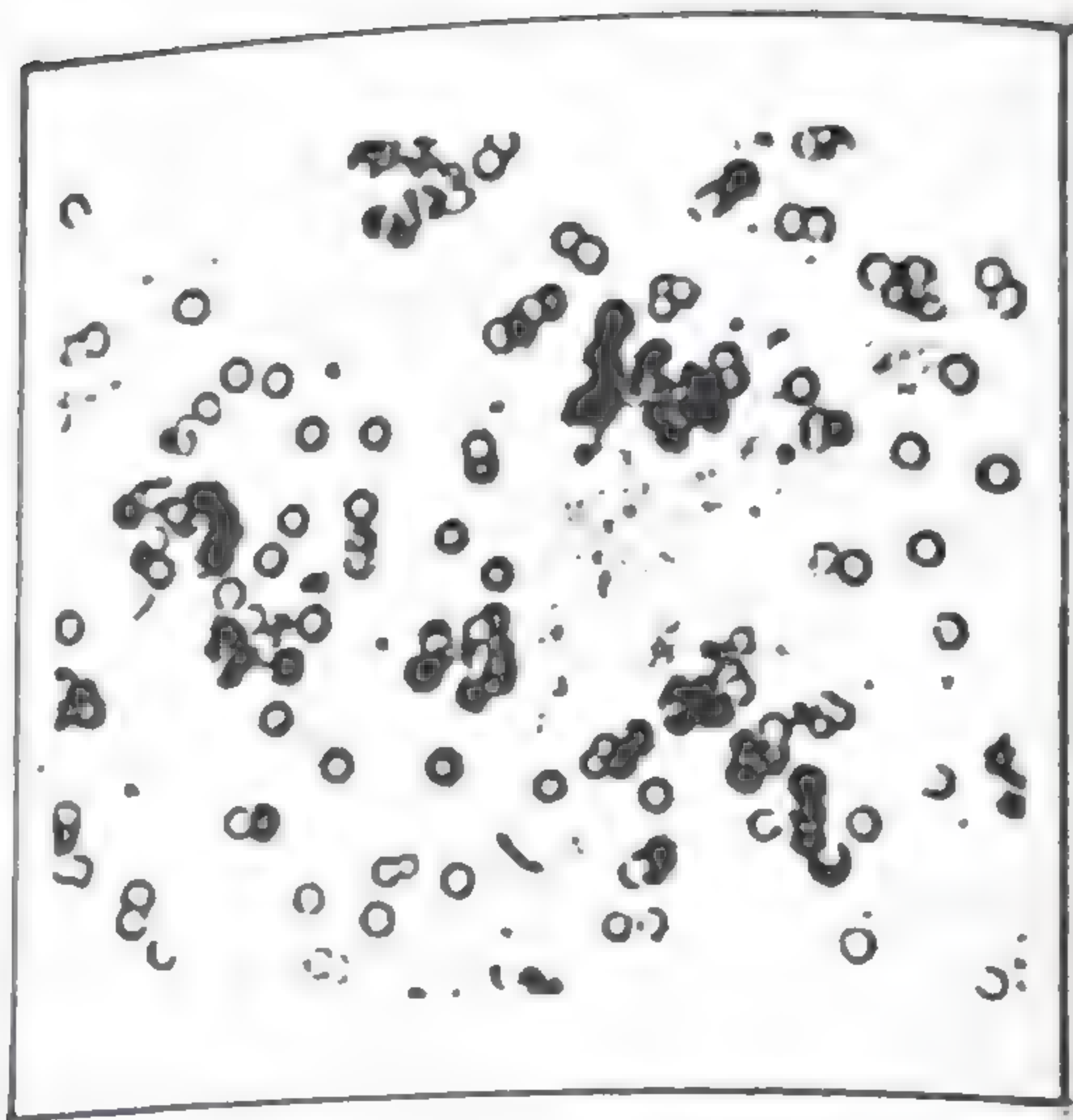
لم يكن حتى ما بعد تجربة ميلر في عام ١٩٥٣ ان قام باحثون آخرون بتقديم نماذج من الانتظام الخلوي وما قبل الخلوي . فقد تمكن كارل غرسنباخ^(١٢) (Karl Grossenbacher) وسي أي نايت^(١٢) (C.A. Knight) من عزل ليس حوامض امينية فحسب وانما الهضيتيدات ايضا اثناء قيامهما بالبحوث على تجربة الشرارة . ثم اثناء قيامهما بفحص الطبقة الصلبة وعينات من السائل الكدر المأخوذة من خليط التفاعل ، اكتشفا اجساما دقيقة صلبة تراوحت بالحجم من حوالي (٠.٠٨-٠.٠٥) ميكرومتر وقل . تضمنت هذه الكريات الدقيقة الواقعة في نطاق حجم الفيروسات ، مقادير كبيرة من الفلزات وحوامض امينية ومركبات مماثلة . لكن الباحثين أبديا ان الكريات كانت سيليكات

ناشئة عن زجاج البوروسيليكات (borosilicate glass) في جهاز الشرارة وشككا في ما اذا كانت قد لعبت دورا في التكوين الحيوي (biogenesis) قامت جماعة من الباحثين في رومانيا بتجري امكانية تكون مركبات عضوية من جو بدائي في ظروف مختلفة ، وتناول سيمونسكو ودينس وماكوفو^(١٣) (Simionescu, Dénes, Macoveau) تكون مركبات ما قبل حيائية بالتفرغ الكهربائي في احوال البلازمة الباردة معدلة ما بين درجة حرارة (٢٠٠-٦٠) مئوية ، ووجدوا ، في تجارب افتعالية لهذه الاحوال ان خليطا من الميثان والامونيا وبخار الماء أدى الى تكون بنى عضوية متطورة من مواد بولي هضيتيدات معقدة شوهدت تحت المجهر متكتفة في المادة اللينة (fibrillar) في تربية مستديرة او متشعبة.

ان جعل تجربة ميلر الفورمالديهايد والثيوسيانات (formaldehyde and thiocyanate) مواد ما قبل حيوية معقولة الاحتمال ظاهريا أضفى سداية جديدة على بنى الكبريفوب (sulphobe) التي كان هيرار قد حصل عليها في تجربته . فقام ادولف سميث (Adolph Smith) من جامعة سير جورج ويليامز بموتريال مع جيه جيه سيلفر (J.J. Silver) وغاري ستاينمان^(١٤) (Gary Steinman) من جامعة بنسلفانيا الحكومية بإعادة تحري ادعاء هيرار برؤية اشكال شبه حيائية في خليط تفاعله ، واكتشف هؤلاء الباحثون عند قيامهم بخلط ثيوسيانات الامونيوم والفورمالديهايد ان المحلول العديم اللون تخضب بالاحمر قليلا خلال ثوان وآل الى اصفر ذهبي في النهاية بعد انقضاء ساعة واحدة . كشف الفحص المجهرى عن وجود كثافة عالية من الكرات أو الحصصات تتراوح اقطارها ما بين (١-٥) ميكرومتر طولاً . وكشفت تجارب اضافية عن ان الضوء ما فوق البنفسجي ينفق التفاعل ،

وعند اضافة كلوريد الزنك الى خليط التفاعل اندمج الزنك في البنى مضمنا عليها نشاطا شبه أتباز محلي (localised ATPase-like activity) كان رأي الكيميائي ان هذه التجارب دلت بوضوح كيف كان يمكن لمواد كيميائية بسيطة يعتقد انها تواجدت على الارض البدائية أن تكون قد شملت أو تدخلت في تكوين بنى مثل الخلايا قبل تواجد اية خلايا حية.

ونموذج آخر للانتظام ما قبل الخلوي الذي قد حظي بترويج كبير هو الكرات المتكونة من البوليمرات الحرارية للحوامض الامينية التي حصل عليها سيدني فوكس ومعاونوه في تجربتهم . في عام ١٩٥٩ أعلن فوكس وهارادا وجيه كيندرىك^(١٥) (J. Kendrick) ان المحاليل الحارة المشبعة من شبه البروتينات الحامضية (acidic proteinoid) اعطت عند تبريدها اعدادا كبيرة من كرات مجهرية متوحدة متسقة . كانت هذه البنى الكرية المسماة بشبه البروتينات الكرية المجهرية (proteinoid microspheres) ذوات اقطار تتراوح اطوالها في العموم ما بين (١٥-٣) ميكرومتر وتكونت بسرعة وسهولة من شبه البروتين الحامضي . انما شبه البروتينات القاعدية (basic proteinoids) من جهة أخرى، لم تكون اعتياديا اية كرات مجهرية ما عدا عند خلطها بشبه البروتينات الحامضية . اعطت الكرات المجهرية المحتوية على شبه البروتينات القاعدية لوثة غرام موجبة (positive Gram stain) . اما تلك المعدة من شبه البروتينات الحامضية فانها تقبلت اللوثة ولكنها كانت سالبة، واعتبرت هذه الملاحظة كدلالة على اوجه الشبه في التركيبة السطحية في الكرات المجهرية شبه البروتينية والبكتيريا^(١٦).



الشكل ٢/٢٢ - كرات مجهرية تكونت من الحامض الاميني الحامضي .

كما هي الحال مع أغلب هذه النماذج الفيزيائية للخلايا بوسع الكرات أن تلتصق وتتقسم، وبوسع الافراد الاصغر بينها الالتصاق بأترابها الاكبر . وقد أشير الى هذه الظاهرة الاخيرة باعتبارها (تبرعم budding) بناء على تماثلها بالمتعضيات المجهرية الحية . أعلن فوكس وجماعته ان عند ازالة هذه الكرات الاصغر بالصدم الميكانيكي أو الحراري أو الكهربائي وتجميعها بعملية الفرز المركزي (centrifugation) لاحظوا انها تنمو في الحجم عند وضعها في محلول شبه بروتيني مشبع بدرجة حرارة (٣٧°) مئوية^(١٧) . كما ان اجراء التغيرات في أحوال المحلول حمل هذه الكرات المجهرية على مكابدة تغيرات مورفولوجية مختلفة مفتعلة تناسخ الخلايا . وعلى الاجمال قد تم غزو خمس كيميائيات تكاثر الى هذه الكرات اللايولوجية.

مثل ليونوك (Leonok) وكيساك (Kisak) الارتشاحية قبل سبعين عاماً حيث حوّل
فوكس أن يسبب جميع الظواهر الفيزيائية «البيئية» أو الزائفة إلى حوامل
الظواهر الحية. يمكن وضع ضغط ضئيل على هذه الكرات المجهرية جعل
تتجمع في سلاسل مثل الطحالب (١٢٠) وعندما اتحدت هذه الكرات وحصر
تبادل المادة المحيطة فيها سببت هذه الظاهرة «بالتواصل» (١٢١). أما التفسير
الأحدث لعملية الاكتران أو «التزاوج» بين هذه الكرات المجهرية هو
«السائل البدائي» (١٢٢).

إن من الصعب رؤية تواجده علاقة تطابق لأشياء البروتينات أو كراته
المجهرية بأصل الحياة. وكما أشار إليه دي برغال (J.D. Berge) : «تتجه هذه
الكرات أو الحويصلات عادة بالبلورة اللاظامية أو المتفرعة التسلسل، كما في
حيات النبات، ولا تؤدي بفعالية إلى طور وانما تشكل التماساً من كرات
جائفة أو لينة حول النوى، وأي تشابه بالتعضيات، مثل حصول ازدواج
كرتين كملالة على الالتصاق، ربما هو غشوي من باب الصدفة» (١٢٣). وبالنسبة
فان بحث فوكس يعكس رجوعاً إلى الأسلوب القديم للتجارب حول نشأة
الحياة والتي كان يستهدف إقامة نماذج تقليدية لأشكال الحياة البدائية.

يقينا أن الكرات المجهرية تمثل دلالة إضافية على أن البلورة الحرارية
الحواض الآمينة لا يقضي إلى بلورة جانبية تشبه البروتينات الطبيعية.
وانما اعتبر المرء انشاء البروتينات الحامضية بكونها أصلاً بنى لحامض البولي
اميرتيك يصبح الترابط ما بين الجزئتي يسير التفسير. تلك حواض
الكروزيليك (كروزيليك) ذرة شديدة لازدواج صيفها الجزيئية
بالارتفاق بواسطة مجموعات الكروكيلية. ونفس الأسلوب تكوّن
مجموعات حامض الاسيرتيك الجانبية في شبه البروتين اربطة بين جزيئ

مع بعضها في جزيئات متجاورة. وهذا متماش مع حقيقة أن الكرات المجهرية
تتكون في مستوى ٢٠ فوق (٦) بسبب تأين مجموعات الكروكيل.

بتغيير تركيز الملح يمكن جعل الكرات المجهرية تتفتح وتتكسر، وهي
حامية القرح انها مماثلة لتلك التي تبديها الخلايا عند تعريضها إلى تغير في
الضغط الأرتشاحي على غشائها شبه الانتقائي الانتشاري (١٢٤) (١٢٥).

وما كان قد ثبت أن الكرات المجهرية شديدة الترشح أو الانتصاح ولا يمكن
أن تقوم مقام الغشاء (١٢٦)، فانه يتعذر عزو الانتفاخ والانكماش إلى الضغط
الأرتشاحي وانما بكل وضوح يتأتى من عمل شبه البروتين بصفة بوليبر
مشحون على غرار داووكس (١٢٧) (Dowex 50). أن البوليبرات التي تفسن
مجموعات وظيفية قابلة للتأين، مثل $(-NH_2, -COOH)$ تتكسر أو تتفتح في
تركيزات ملح مختلفة بسبب التغير الحاصل في عدد الشحنات على البوليبر.
فتركيزات العالية من الملح تسبب الانكماش بالانجذاب الكهروستاتي
للپوليبر المشحون إلى الأيون المضاد. وتستخدم مثل هذه البوليبرات عادة
في المختبر كبادلات أيونية (ion exchangers).

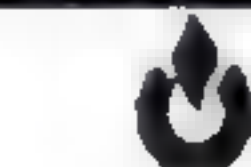


الشكل ٢٢/٣ - جسيم حيواني نين «التبرعم».

لقد جرت احالة ما يقرب من اربع وعشرين خاصية للبروتينات الى البوليمرات الحرارية للحوامض الامينية^(٢٥). تعتبر «محدودية اللاتجانسية limited heterogeneity واللا عشوائية (nonrandomness) لتركيبية اشباه البروتين كدلالة مؤيدة لامكانية تحقيق بلورة مشاركة (copolymerization) للحوامض الامينية في سياقات تشبه البروتينات. غير ان هذا مناف للسلوك الفيزيوكيميائي للبروتينات. فالبروتينات والبولي هضيتيدات لا تكون كريات مجهرية. وحتى البروتينات المنزوعة الطبيعة، كمثال اغلاء بيضة، لا تتكور في كريات مجهرية، بل تتخر او تتروّب بالطريقة المألوفة.

كما ان جهودا مماثلة لخلق نماذج للخلية البدائية قد اولت اهتماما اكبر للشكلية الاجمالية مما للوظيفية الكيميائية. فقد قام كريشنا بهادور^(٢٦) (Krishna Bahadur) من جامعة الله آباد بالهند في عام ١٩٥٤ باعداد كريات مجهرية بتعريض بارافورمالديهايد والماء واوكسيد الموليبدنوم الفسرواني لاشعاع الضوء المرئي. وزعم ان هذه الكريات المجهرية ملكت القدرة على النمو والانقسام والانشطة التايضية. كما قام بهادور باعداد كريات مجهرية ببلورة الحوامض الامينية حراريا واسماها جيوانو (Jeevanu) وهي الكلمة السنسكريتية التي تعني «جسيمات الحياة»^(٢٧).

ان التعليل المطروح من اوبارين وفوكس وآخرين لنماذجهم هو ان الخلية الحية كانت قد سبقتها منظومة كانت تملك الخواص المورفولوجية الشبيهة بالخلايا ولكنها لم تكن حية بعد. على ما يظهر ان انعقادات اوبارين اصبحت حيات بدائية اولية^(٢٨) (protobionts) والكريات المجهرية لفوكس خلايا بدائية اولية^(٢٩) (proto cells). ثم على ما يزعم ان هذه البنى مرت بفترة من التطور تغيرت فيها الى ان نشأت بشكل الخلايا الحية الاولى. لكن كيفما يتأمل المرء هذا لا يسعه الا اعتباره هراء علمياً. فالنشوء الارتقائي هو عملية التطور البيولوجية من خلال التبدل الظفري والتكاثر والانتقاء. وهذه



النماذج الكذب خلوية، مثل الصلصال، او فقاعات الصابون، او غيرها من الجداد، لا تملك الآلية ولا القدرة الكامنة لتصبح غير ما هي ليس الا.

فقدت هذه النماذج للخلايا الحية قيمتها العلمية بالاقلاع عن وظيفة الغشاء الخلوي للتشديد على التشابهات المورفولوجية الباهرة. كانت فرضية الانعقادات قد اقيمت في عصر بدت فيه الكيمياء الفروانية بانها اساس الحياة، ونشأت شبه البروتينات من محاولة فاشلة لتمثيل او تصنيع بروتينة لا حياة او مادة شبه بروتينية بعملية بسيطة، لقد حملت كلتا الفرضيتين فوق وسعهما في محاولة لاشتمال دور المحرك الاولي في اصل الحياة بالرغم من خطوات التقدم الهائلة التي تحققت في البيولوجيا الجزيئية وكيمياء الغشاء والتي كشفت ان المبادئ الكيميائية التي تم اشتقاقها منها لم تمت بصلة الى كيمياء المنظومات البيولوجية.

ان المسألة الراهنة هي ما هي القوى التي تسببت في تجمع والتحام البوليمرات ما قبل البيولوجية. ان القوة الرئيسة الرابطة في الانعقادات هي التجاذب الكهروستاتي بين البوليمرات المموهة، وتكون الكريات المجهرية يتوقف في الاساس على نفس التفاعل. في العموم يجري اعداد الانعقادات من المركبات البيولوجية، أما الكريات المجهرية فيتم اعدادها من المركبات اللايولوجية. وقد اقتضى تبرير وقوع الاولي على الارض ما قبل الحياتية، بينما ليست الثانية سوى مواد ردب يستبعد ان تقوم خلية وظيفية حية.

لكن الخطأ الاكثر فداحة في النماذج المبنية على جسيمات متمسكة معا بقوى ايونية هو انها كانت لتكون على الدوام مهددة بخطر الانحلال. فالانعقادات شديدة اللاستقرارية، والكريات المجهرية تتواجد فقط في محاليل مشبعة، وتتواجد ههما في البحار او البحيرات الاركية كان ليكون قصير العمر للغاية.



الفصل الثالث والعشرون - الغلاف الحيوي

حصل شيء ما في نقطة ما على الأرض البدائية ، شيء كان عاديا وتلقائيا في المراحل المتطورة الى منظومة بيولوجية سجلت بداية الحياة . فقد كان من تلك اللحظة فصاعدا ان تحولت بعض النضيبات والبولي نووتيدات ومواد متنوعة متوافقة من مجرد مواد كيميائية الى مواد بيوكيميائية ملتصمة بكيفية آلت بها الى خلية حية . فماذا كانت طبيعة تلك الخطوة الختامية؟ حتما انها كانت اكثر من تولد جسيمات كروية بشعة لاصلة لها جوهرية بالمظومات البيولوجية ، ولا بد بالاحرى انها كانت عملية ادخلت خاصية جوهرية في تنظيم المادة تتميز بها الخلية الحية . ذلك الحدث الخطير الذي اصبح اللحظة التي بدأت فيها الحياة كان انقسام تجمع من الجزئيات الذاتية الاتساع في غشاء خلوي شبه انفاذي اتشاري .

اصبحت الخلية الحية تفاعلا خاصا من المادة وسيطا بين مواد مرتبطة ارتباطا وثيقا بأربطة وجزئيات متساوية التكافؤ في محلول سائب . وليتم الانفصاح عن بنية البولي نووتيدات من خلال التناسخ والترجمة تحتم عليها وعلى مقوماتها الانحباس في تجاور وثيق ومع ذلك بدرجة من الحرية يتسنى لها معها التحرك والتفاعل . ولهذا الغرض مست حاجة الخلية الى غمد كانف يملك جميع الخواص الفيزيائية لفصل الخلية عن البيئة المحيطة مع اتاحة المجال لها لتناول المواد الاولية والطاقة ، وبهذه الطريقة تمكنت الخلية من ادامة احتياطي من الطاقة بالنسبة الى المحيط ليدفع آليتها الخلوية .

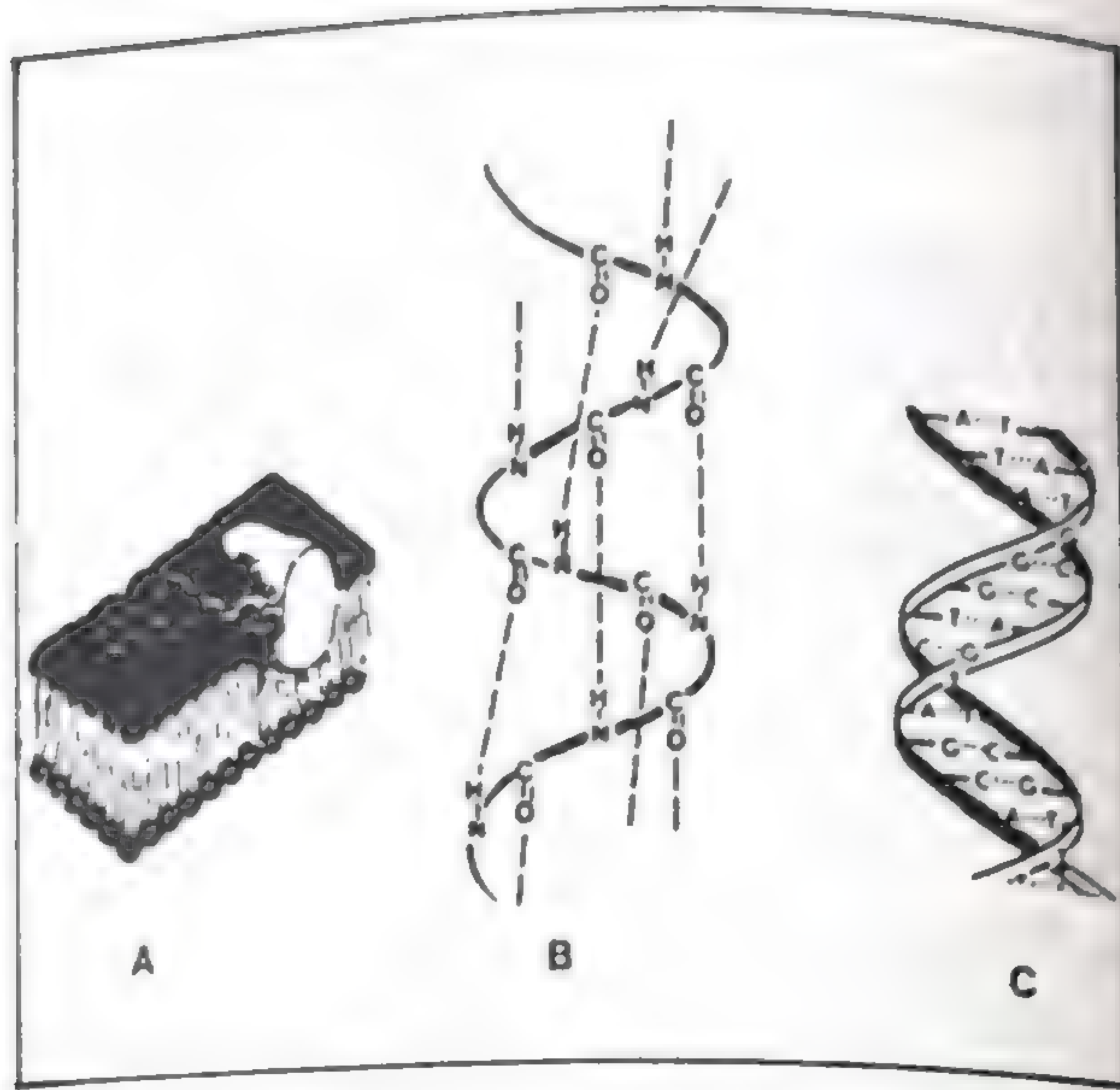
اقتضى أن يكون الغلاف الحاوي منيع النفاذ للمكونات الخلوية انما يملك القدرة على اتاحة تسرب جزئيات دقيقة ، واقتضى ان يكون مرنا مطاوعا للاتساع والانقسام انما يتماسك ببعضه تلقائيا ، واقتضى أن يكون

مقاوما للذوبان في المحاليل المذوقة وعلى نطاق واسع من مستويات
واقضى ان يكون متراكبا من مواد كيميائية بسيطة تستظم معا ذاتيا في باطن
شكلى الغلاف الثائى البعد شبه السائلة . وتوفرت كل هذه الشروط في
الغشاء الدهنى الثائى الجزئى .

ان الغشاء الثائى الطبقة الدهنى مثال للبساطة يتكون تلقائيا ويؤلف
السمة البنىة العامة الجامعة لجميع الكائنات الحية قاطبة ، وهو موجود لدى
كل خلية ، بما فيها اصغر المتعضيات المجهرية الطليقة العيش . هذه الطبقة
الثائية الدهنية جوهرية الضرورة لدرجة انها تأتي في مصاف لولب ألفا
للبروتينات واللولب المزدوج للذئ (DNA) في تمثيل البنى الاساسية الثلاث
للمنظومات البيولوجية . وأهمية الغشاء الدهنى واضحة من الحقيقة انه
كلما تزايدت المتعضيات في التعقيد كلما ازداد اتساع عدد البنى الخلوية
المحتوية على الاغشية .

تباين تركيبة الدهنيات في أغشية الخلايا المعاصرة الى حد كبير ، انما
في العموم يتألف الغشاء بالتقريب من نصف بروتين ونصف دهنى مع كون
الدهنيات في الاغلب فوسفودهنيات . وهذه المركبات الاخيرة تمثل مسلا من
المشتقات الحامضية الدهنية من حامض الغليسر وفوسفوريك التي تتباين
بالمكون الجزئى الصغير المرتبط بمجموعة الفوسفات .

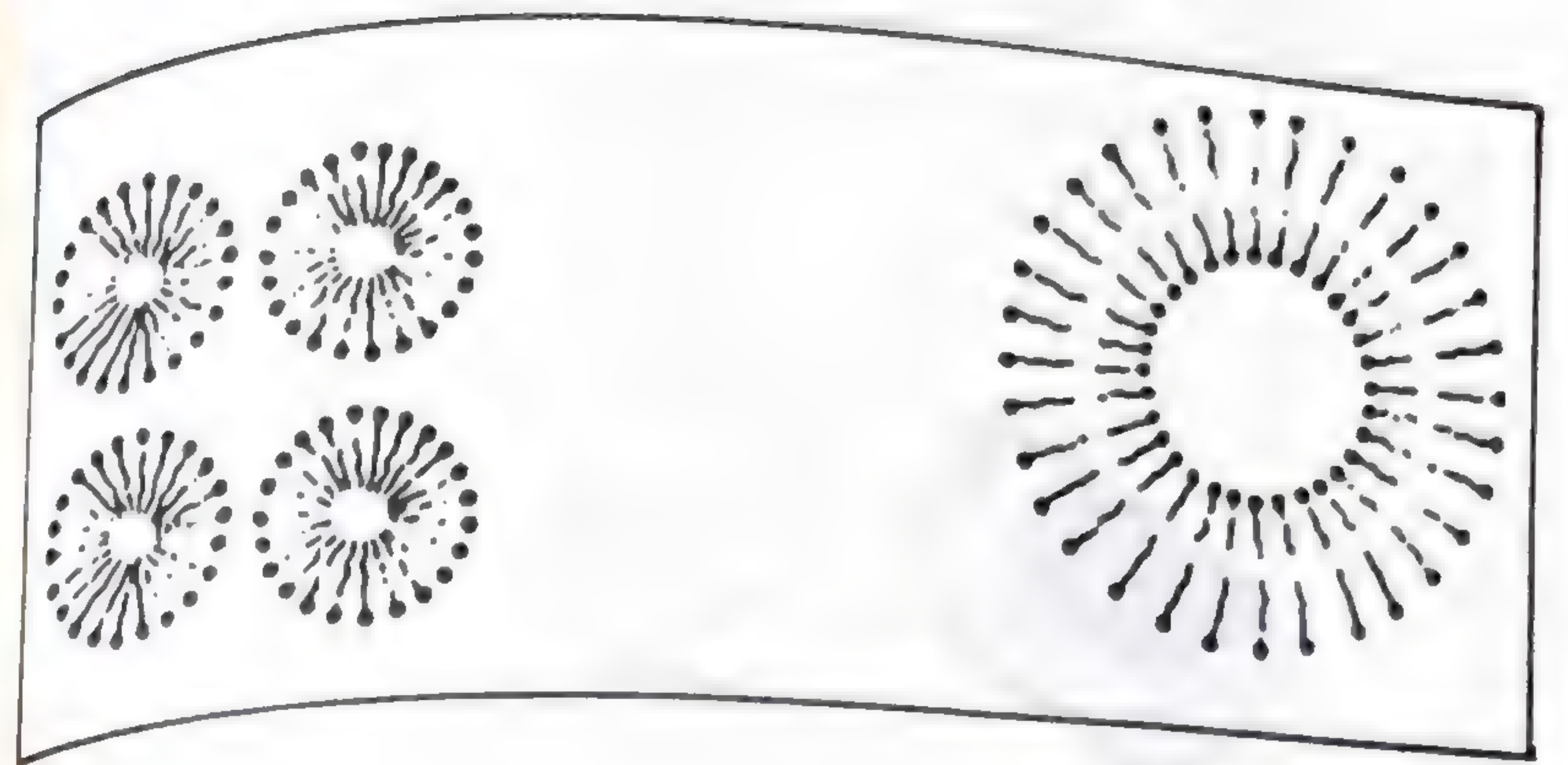
بما ان الماء ينافر السلسلة الهيدروكربونية للبدائل الحامضية الدهنية ،
ينما النهاية الفوسفاتية للجزئنة قطبية وقابلة الذوبان في الماء ، تأتي الدهنيات
في فئة من الكيمائيات تترافق بين طورين فيزيائيين . ففي الماء تدفع
الفوسفودهنيات الى بعضها البعض معا بحجب سلاسل البرافين من الماء في
تجمعات كصفائح من الجزئيات مع النهايات القطبية ممتدة في الماء . كطبقة



الشكل ١/٢٢ - الوحدات البنىة الاساسية للمنظومات البيولوجية .
١ - الغشاء الثائى الطبقة الدهنى . ب - الليفة اللولبية
للبروتينات . ج - اللولب المزدوج للحوامض النووية .

سطحية يتألف التجمع من طبقة أحادية الجزئيات في الفاصل بيني الهواء
الماء مع السلاسل الهيدروكربونية موجهة الى الخارج بعيدا عن الماء . غير انه تحت
السطح ومحاطة بالماء تشكل الفوسفودهنيات اشكالا كروية مع سلاسل
الهيدروكربون مندمجة بعضها البعض . فاذا دمجت طبقة مفردة من جزئيات
الفوسفودهنيات سلاسلها الهيدروكربونية لتشكّل كرة ، ينجم عن هذا
ما يسمى بالمذيلة (Micelle) ، انما اذا خلقت طبقة ثنائية الجزئيات تحويطة او
مكتفا كرويا enclosure فالنتاج يكون دهنوسومة (liposome) ، أو حويصلة
أو بويصلة (vesicle) اذا كانت الاشارة الى مكونات بيولوجية . والحويصلة
هي التي تمثل السمة الخلوية الشائعة الكلية لجميع الحياة على الارض .





الشكل ٢/٢٢ - الزبيلات والدهنوسومة (حوصلة).

تخلق الدهنوسومة المتكونة من الصفيحة الشائبة الطبقة المغلقة حالة الخلية الحية حيث يمكن ادامة البيئة الباطنية في تركيبة كيميائية وكمين من الطاقة مختلفين عن الوسط المحيط، ولا تستطيع الآلية التكاثرية والتأيفية للخلية الاشتغال ما لم تكن المواد المنخفضة الوزن الجزيئي، والتي تمثل الطبقات السفلية والطلائع للتشيل الحيوي، محفوظة بضمن غشاء. وهذه الاغشية المزدوجة الدهنية مع نهاياتها المائية الجنوح موجهة الى الخارج هي حواجز مستقرة ضنيا لمنع فقدان مقومات خلوية ثمينة وللحفاظ على مدرج التركيز الجوهرى الضرورة للمنظومة البيولوجية .

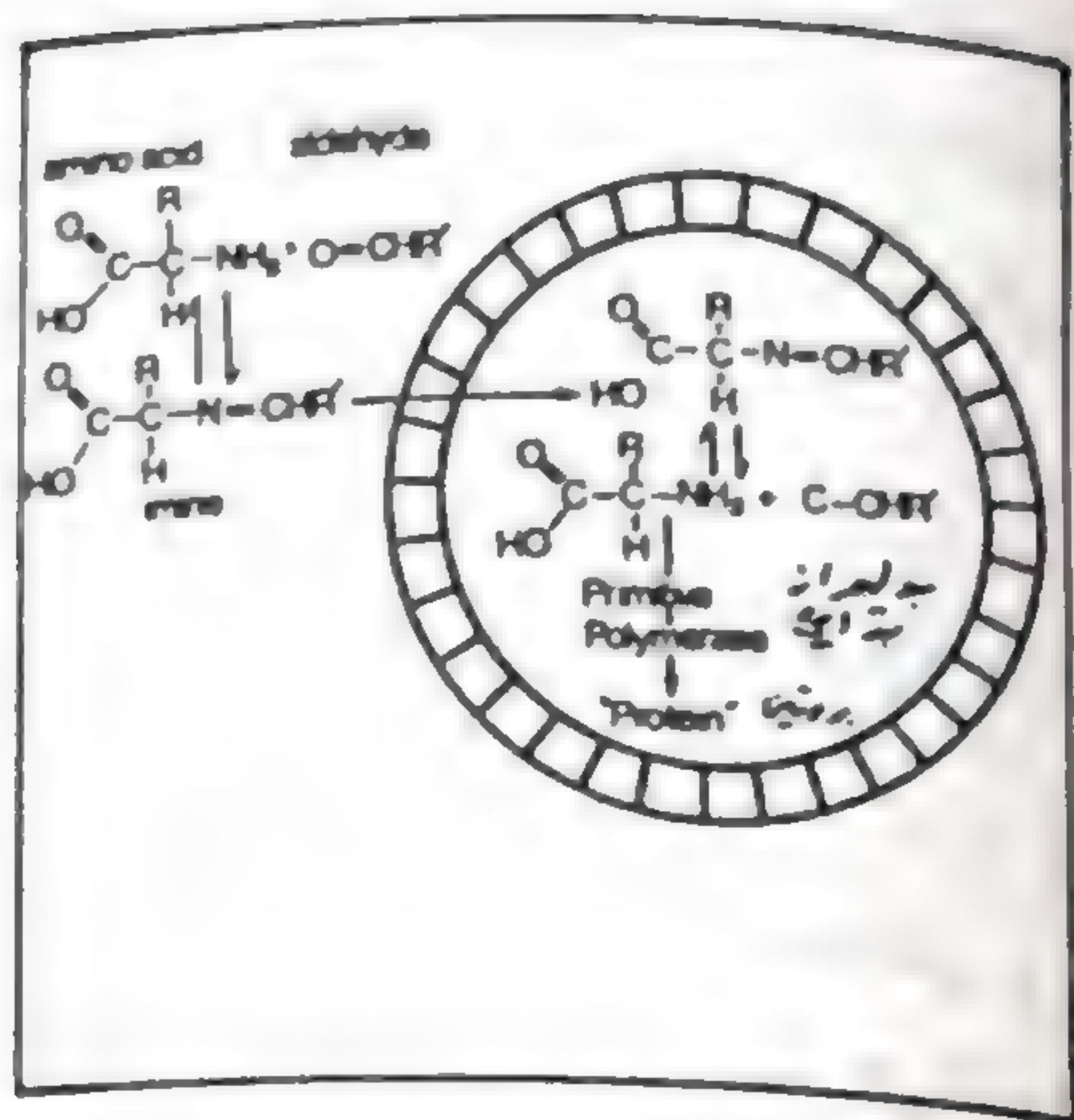
يتحتم على الغشاء أن يعزل الخلية عن بيئتها، ولكن ليس كليا ، اذ انه يلزم توفر المجال لدخول الاغذية الى الخلية ولطرد الفضلات التلف التأيفية، والغشاء الخلوي في العموم نضوح للماء والمواد القابلة الذوبان في الدهنيات، ولكنه يدخل فقط المركبات العضوية القابلة للذوبان والتي تحتوي على لا أكثر من ثلاث الى خمس ذرات كاربون، يعتمد اختراق الايونات على عدد الشحنت

الكهربائية للايون الواحد، ويبدو ان النوع المتعدد التكافؤ كايونات الكلسيوم والكبريتات شديد البطء في اختراق الخلايا . كما يوجد حاجز مانع للشحنة الموجبة، والانيونات الصغيرة كالكلوريد والبيكاربونات تخترق غشاء خلايا الدم الحمراء أسرع بحوالي مليون مرة من الكاتيونات من ذات الحجم. وهذه الانتقائية للشحنة الايونية ، وهي خاصية مميزة للغشاء الخلوي، تظهر ايضا في دهنوسومات الفوسفودهنيات بعدة اضعاف حجمية (١).

يتضمن الجزء البروتيني في الاغشية الخلوية المعاصرة انزيمات وجزئيات نوعية أخرى تقوم بتأدية وظائف للمتعضيات المعاصرة كانت لتكون متقدمة فوق العادة للغشاء الغامد البسيط لدى الخلايا البدائية . غير انه توجد بعض العمليات كانت نظرا لصفاتها الجوهرية لتكون مشتركة لدى الخلايا البدائية وسلالتها الاكثر تقدما وتطورا على حد سواء. بالاصل كانت الجميع يقتضي بها ان تستجلب الى الخلية من خلال الحاجز الدهني مواد الاقليات من خارج الوسط لتغذية نموها.

ان العديد من المواد ذوات الاهمية كالكساكر ، والحوامض الامينية والنووتيدات ليست قابلة للذوبان في الدهنية وتتجاوز حدود حجم النفاذ، ولكنها مع ذلك تخترق الاغشية الخلوية بسهولة ، ويعتقد ان الخلايا المعاصرة تملك آلية نقل خاصة لأخذ هذه المواد الجوهرية عبر الحاجز الدهني. ولما كان جهاز النقل النشط هذا يبدو مشيدا من بروتينات خاصة في الغشاء فانه نظرا لشدة تطوره ما كان ليكون متوفرا لدى الخلايا البدائية . اذن كيف كان ليتسنى للمكونات الحيوية ان تعبر طبقة الدهنية لامداد الخلية البدائية بالغذاء من الوسط الخارجى؟

لا بد انه تواجدت آلية بسيطة من نوع ما توفرت للحوصلة الدهنية



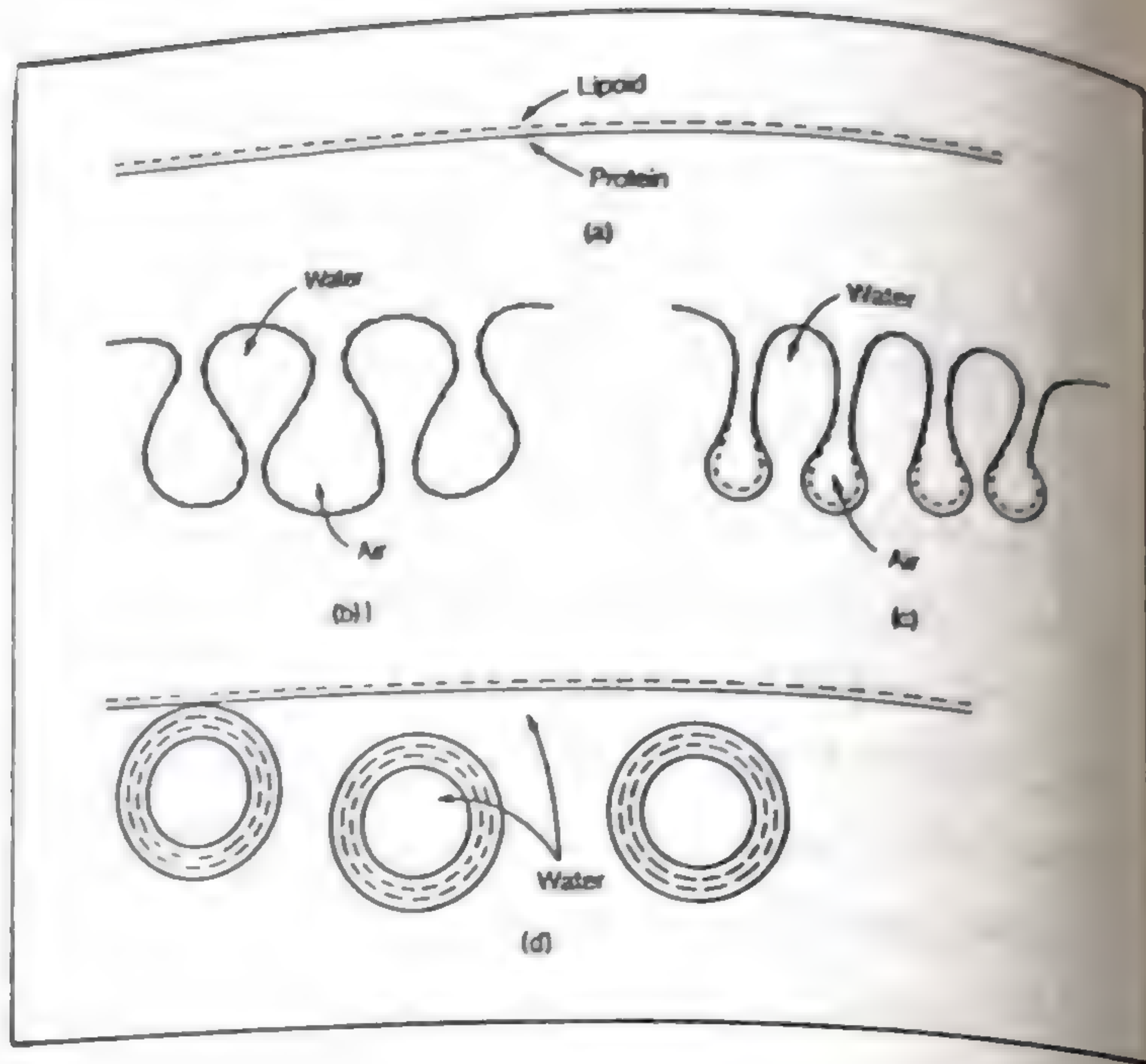
الشكل ٢٢/٣ - رسم بياني يوضح المآخذ الإلهيائية الواسطة للحوامض
الأمينية إلى باطن الحويصلة الدهنية.

يبدو ان الحويصلة الدهنية هي النموذج الوحيد لغشاء الخلية
البدائية الذي يقوم بأداء جميع المتطلبات البيولوجية . اما الانعقادات،
والكريات المجهرية شبه البروتينية ، وجسيمات حيوانو، والكريات اللاعضوية،
كلها لا تملك جميع الخواص الحيوية التي يملكها الغشاء الثنائي الطبقة
الدهني . فهي اكثر نقوصا من ان تستطيع حفظ المواد الصغيرة الاوزان
الجزئية ، وأسمك وأكثر موصولية من ان تعمل كعازلات، وجميعها تعجز عن
مطابقة شروط مبدأ الاستمرارية ، وهذا هو التعميم الذي يستوجب على كل
مرحلة من التطور ان تأتي كتمة متصلة للمرحلة التي سبقتها . وقد بذلت
جهود لدمج الخواص الجوهرية للغشاء الدهني في الانعقادات والكريات
المجهرية لكن الهدف يتعرض للارتباب . فلا الانعقادات ولا اشباه البروتينات
تملك أي دور في المنظومات البيولوجية ، ولا يوجد أي دليل على ان ايا منها
كان يملك هذه الخاصية قط . من جهة أخرى، يبدو ان الغشاء الثنائي الطبقة
الدهني كان الغلاف الحيوي منذ بداية الحياة.

كان اختلاف المنظومة البيولوجية نتيجة تجارب المواد الطبيعية للتفاعلات التلقائية ، وقد وجد ان لبنات البناء كانت بنى معززة بالطاقة تنجت عن التفاعل بين الطاقة الشديدة والمادة ، وبلغتها تتبع تفاعلات كيميائية معينة في احوال ارضية عادية . فالنويات تشكل ازواجا من خلال الترابط الهيدروجيني للتاسخ، وتلف البولي هضيتيدات نفسها في لفيفة لولبية ، وهكذا ايضا تجمع الدهون تلقائيا في بيئة مائية لتشكيل اساس الغشاء الخلوي .

توضح تلقائية الدهون لتكون البنى من اسقاط قطرة من الزيت في الماء . وحتى قدر دقيق من الزيت سينتشر تلقائيا في صفائح من الجزئيات المترافضة وبشكل طبقة رقيقة . والطبقات السطحية هي طبقات احادية الجزئة تكون في الفاصل بيني للماء والهواء، بينما في حجم مائي بدون فاصل بيني تقوم الدهون بما مؤداه خلق فاصلها بيني الذاتي بابقاء نهاياتها القطبية متجهة نحو الماء بينما توجه ارفالها اللاقطبية للتجمع معاً . فاذا تكونت كرة تضم ماء تكون النتيجة تحويطة غشائية ثنائية الطبقة ، اي حويصلة .

هذه سمة عادية للطبيعة كان اول من ابان اهميتها لأصل الحياة ريج كولدبيكر^(٥) (Reg Goldacre) من معهد بحوث چستر بيتي بلندن . في عام ١٩٥٨ نشر كولدبيكر ورقة حول الرقائق او الطبقات السطحية (surface films) كان قد لاحظ شيوعها في جميع البحيرات والانهر والجداول . توجد رقيقة (film) مرنة على أسطح جميع التجمعات المائية قلما تبدو للعيان الا اذا كانت مفعمة بالغبار أو جرى فحصها بعناية ، وهذه تبدو جزءا من البيئة الطبيعية ، تأكلها الدعاميص ، وتزحف البزاقات منقلبة على سطحها السفلي، ويمكن رؤية مفصليات صغيرة مستدة عليها اثناء تنظنها على السطح . وهذه رقيقة جزئية ليس من الزيت وانما ربما من الدهنوبروتينات (lipoproteins) واوراق النبات واللقاح أو الطلع وغيرها من المواد المتساقطة في الماء .



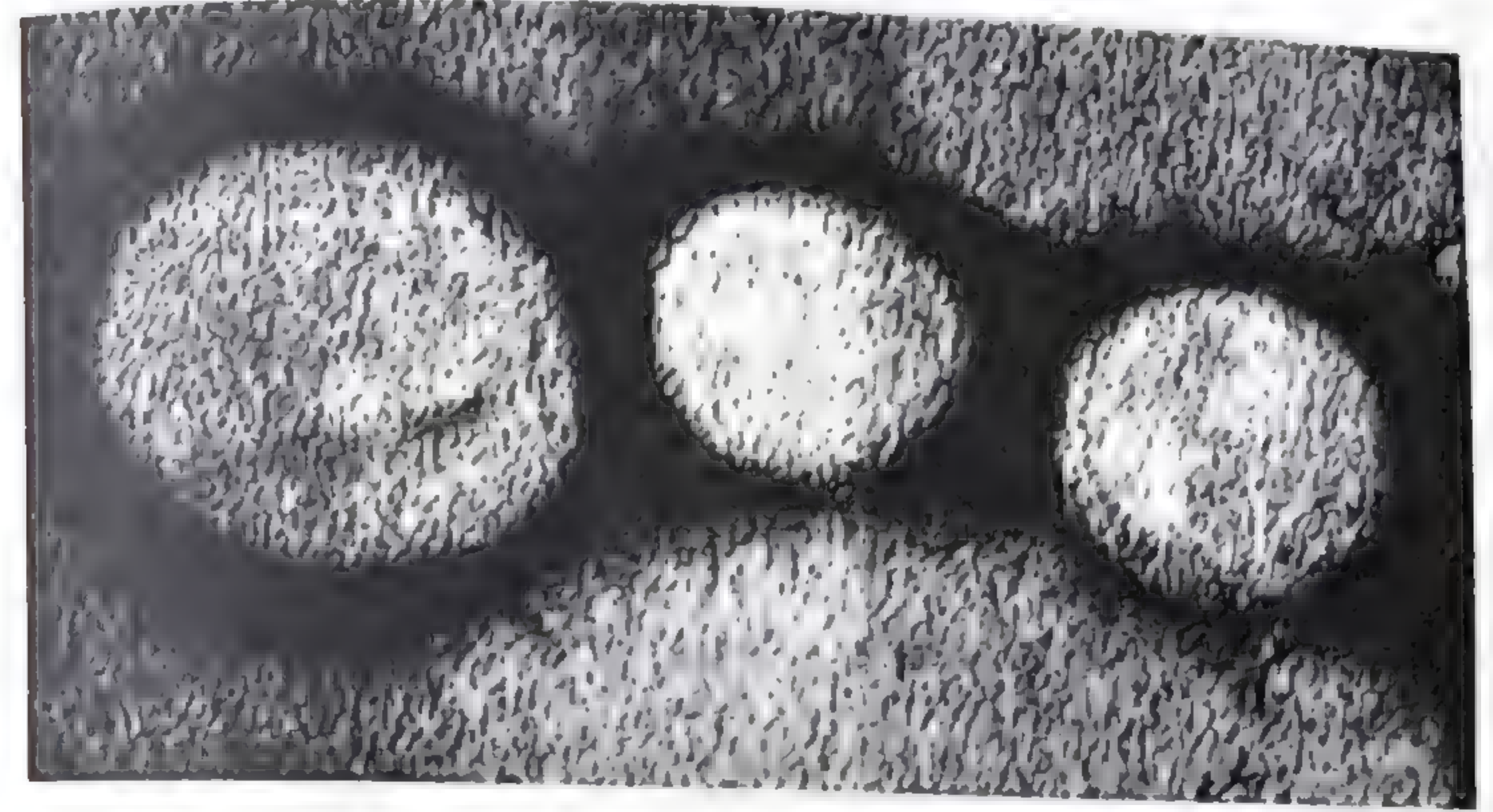
الشكل ٤/٢٢ - نموذج مقترح لتكون الحويصلات الثنائية الطور على الرقائق السطحية بفعل الموج .

عند قبض او كبس الرقيقة بتضييق المساحة السطحية ، كما يحصل عند تحول المجري فجأة من الضحل الى العميق، أو عند جريان الماء تحت حاجز عائم، أو حتى بالضغط السطحي الناجم عن فعل الريح، تنفضن الرقيقة في مسلسل من الطيات، وحيث ينطوي السطح المنافر للماء خلفيا على نفسه تتلاصق الرقيقة المتعوجة وتحبس الهواء والماء في عرى أو انشوطات متناوبة . ثم فيما يتسرب الهواء ويتبدد بالتدرج تنهار الفقاعات وتربط معا اقسامها



متجاورة من الرق لتشكال غشاء دهنوبروتينياً مزدوجاً ينبت عن رق السطح في اسطوانات صغيرة تتدحرج طليقة في الماء، وسرعان ما تفضي هذه البنى المستطيلة عن نشوء جسيمات كروية شبه الخلية تتألف الواحدة منها من غشاء ثنائي الطبقة دهني يضم بباطنه بيئة مائية . ووجد كولدديكر ان الرقائق الدهنوبروتينية المتزقة ، التوتر السطحي، والزوجة ، والتقلص - التمدد الارتشاحي، تشبه بشدة خواص الاغشية البيولوجية.

تتألف الدهنوبروتينات المكونة للرقائق السطحية من مشبوكات تقع ما بين البروتينات والدهنيات وهذه تتألف بشكل رئيسي من الفوسفودهنيات. ان سلسلة البرافين المنافر للماء في مركبات الحوامض الدهنية من الفوسفودهنيات، باحتجابها عن الماء، هي التي تقوم بتوجيه الجزيئات الدهنية في الطبقة الاحادية الجزيئة في الفاصل البيني بين الهواء والماء. ويعتقد في العموم ان الاربطة بين البروتين والفوسفودهنيات تتألف في الاغلب من الايونات وتقع عند الفاصل البيني رغم انه بوسم المجموعات الجوانية



الشكل ٥/٢٣ - الحويصلات الناتجة في مستخرج من تجربة افتعلت التمثيل ما قبل الحيوي للدهنيات.

النافرة للماء في البروتين ان تتفاعل مع الطبقة الدهنية . وعندما تنشأ طبقة ثنائية من تمزق الرقيقة تندمج السلاسل النافرة للماء لطبقتي الدهنيات وتصبح الوحدة المقطعة حويصلة ذات بروتينات ملتصقة بكلا جانبي الغشاء. ان الرقيقة السطحية من اصل بيولوجي، فهل كان نظيرها قد تواجد على الارض ما قبل البيولوجية؟

يبدو محتملا انها كانت تكون سمة شائعة آنذاك، مثلما هي الآن. ان الفوسفودهنيات مركبات تنشأ من تكثف الحوامض الدهنية ، والجليسرول . وحامض الفوسفوريك ومكون صغير اضافي . وكان قد اعلن ان السياناتيد، وهو عامل التكثيف الداخل في التكوين اللاحيوي للبولي نوتيدات والبولي هضميتيدات ، ايضا يحفز فسفرة الجليسرول في المحاليل الحامضية . وقد وجد ويل هارغريفز (Will Hargreaves) وشين ملفهيل (Shean Mulvihill) وديف دير^(٦) (Dave Deamer) من جامعة كاليفورنيا في ديفيس ، في التجارب المقامة

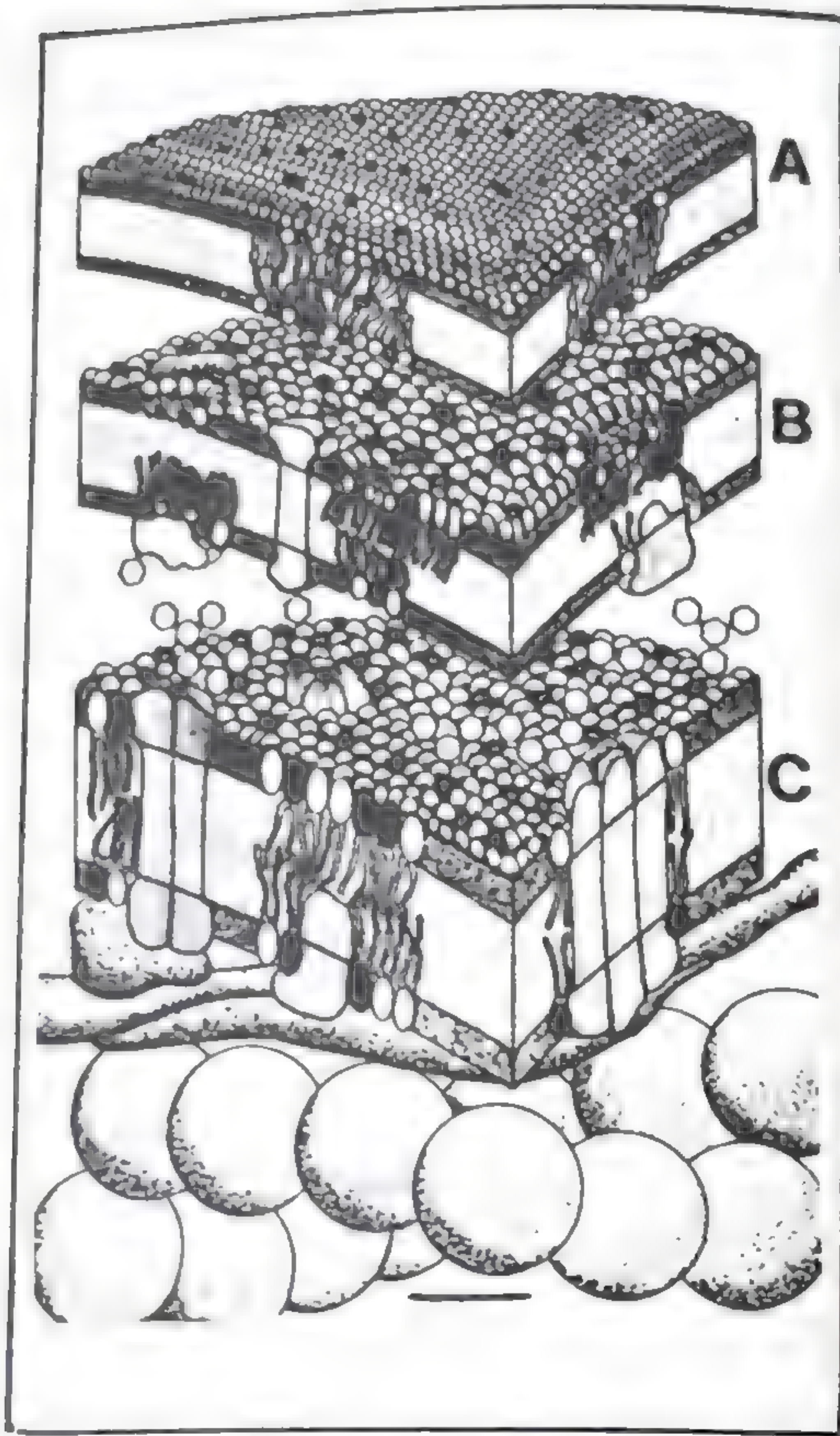
لدراسة التمثيل اللاحياتي للفوسفودهنيات على الارض البدائية أن الحوامض الدهنية والالديهايدات الدهنية تتفاعل مع الجليسرول عند تجفيف الخلائط مما وترخيمها بدرجة حرارة (٦٥°) مئوية لمدة اسبوع واحد . في تجارب أقيمت لافتنال البرك الناجمة عن الفيضانات المدية قام هؤلاء باعداد محاليل مخففة تحتوي على الجليسرول والفوسفات والسياناتيد و اضافوا مشتقات هيدروكاربونية مختلفة للرقيقة السطحية . وعند تبخير الخلائط حتى الجفاف وشي او تحميم الشمالة بدرجة حرارة (٦٥°) مئوية على الرمل او الصلصال تمكنوا من اكتشاف فوسفودهنيات مماثلة للحامض شبه الفوسفوتيك وجليسروفوسفات الفوسفاتيديل في المواد الناتجة عن تلك العملية ، مع بعض الدهنيات المحايدة المتخلفة. اضافة الى ذلك عند صب الماء في هذه المنتجات وخض الخليط تكون بسرعة معلق (suspension) لا متجانس من الحويصلات

مع الغشاء الثنائي الطبقة الدهني . علفت أهمية خاصة على غليسرول الفوسفاتيديل نظرا لأن هذه الدهنية ومشتقاتها الامينواسيلية (aminoacyl derivatives) بارزة التواجد في أغشية البروكاريوت .

وبما واصل هارغريفز وديمر دراستهما وجدا أن النزعة الى تشكيل بنى شبيهة بالخلية لم تنشأ من الدهون الأكثر بساطة من الفوسفودهنيات وإنما أيضا تلقائيا بدون فعل الموج أو أي شكل آخر من الاضطراب . كونت الجزيئات المشحونة المفردة السلسلة حويصلات دهنية مستقلة وحتى احاديات الاسيل غليسرول (monoacylglycerols) التامت في دهنوسومات عند تفرقها في الماء . زيادة على ذلك كونت الحوامض الدهنية ذوات (٨ الى ١٦) ذرة كربونية حويصلات دهنية عند جعل الاحوال قلوية قليلا .

كانت المعالم الحرجة (critical parameters) لتكون الحويصلات مستوى ودرجة الحرارة وطول السلسلة الهيدروكربونية . وبدا ان الحد الأدنى لطول السلسلة التي يمكن للاغشية أن تتكون منها في تفرقات نقية كان ثمانية (٨) كربونات لكل من الحوامض الدهنية وأحاديات الاسيل غليسرول، وكان مدى درجة الحرارة المطلوب ما بين (٢٠-٥٥) مئوية ومستويات η ما بين (٧ الى ٩)، وهذه أحوال تتواجد في معظم البيئات الأرضية .

على ما يظهر كانت الغليسرودهنيات البسيطة أكثر انتشارا من الفوسفودهنيات على الأرض البدائية ، وكان بوسع الرمل أو الصلصال في المسطحات الطينية أو المستجمعات المائية الجافة توفير الظروف الملائمة لتفاعلات التكثف - الجفاف التامت فيها الجزيئات المحبة والمنافرة للماء لتشكيل الغليسرودهنيات . وزيادة على المحفزات السطحية كالسيليك والصلصال ربما ان عوامل التكثيف الكيميائية من سياناميد وثنائي السياناميد ساعدت في التمثيل ما قبل الحيوي لهذه المركبات الغشاء انماية .



الشكل ٦/٢٣ - خطوات افتراضية في نشأة الغشاء الحيوي . يوشل الخط الأفقي (٥٠) نانومترا . أ - الغشاء الثنائي الطبقة الأبسط يتضمن دهنيات مفردة السلسلة مع هيدروكربونات C_8-C_{12} ب - غشاء يتفرد من كلا من دهنيات احادي وثنائي الكيل (mono-and dialkyl lipids) $(C_{10}-C_{16})$ مع بولي هضميتيدات ملتصبة ومحتشرة بينيا . ج - غشاء متقدم من دهنيات ثنائي الكيل $(C_{16}-C_{18})$ يتضمن بروتينات وهيدروكربونات ، ومتعاشر مع أجهزة بروتين محيطية .

لاختبار سلوك الدهون في الاحوال الافتعالية قام ديمر وغيل برجنفيلد (Gail Burchfield) بترك دهوسومات الفوسفو دهنيات تتعرض للجفاف التميؤ (dehydration-hydration) في حضور ٦-كاربوكسي فلوريسين (6-carboxyfluorescein) و DNA الحويئة المنوية لحوت سليمان (Salmon) على التوالي. اثناء فترة التميؤ التامت الدهوسومات بالبنى المتعددة الرقائق أو الرهائف (multilamellar) مع الصبغة (dye) أو الدنا DNA محتبة بين الطبقات. وعند اعادة تميؤ المنظومة انتفخت الرهائف وشكلت بنى حويصلية كبيرة تتضمن مواد الاختبار. واتضح من ذلك أن اعتماد الجزيئات ما قبل الحياتية كان سمة عادية للدورة.

انما يبدو انه كان هناك شيء أكثر في سلوك الدهوسومات من الاحتواء ساعد الخلية في سيرتها. ان عملية التشيل الحيوي وثيقة الصلة بالبنية، فان كيفية وضع الانواع الجزيئية للتفاعل ذات أهمية في تمييز الاليات الخلوية من المحاليل المكشوفة. عند اضافة حامضي (d-AMP و d-TMP) ومرسومة من الدنا DNA (بوليمر جانبي مساعد بولي Poly dAdT alternating copolymer=dAdT) ووضعها في عملية «بركة المد = tide pool» حيث تجففت المكونات في احوال لاهوائية لفترة بضع ساعات بدرجة حرارة (٦٠-٩٠) مئوية، حصل شيء رهيب. اندمج قدر صغير من المونومر d-AMP او d-TMP في الجزيئة البوليمرية^(٩).

كانت الحصيصة ضئيلة بالمقاييس المختبرية (١٠. بالمائة بالدورة) ولكن هائلة الاهمية في مغزاها. كانت الدهنية (lipid) ودرجة الحرارة جوهرتين للتفاعل. وحسب ديمر ان البلمرة الدهنية الاعتماد لمونومرات النوتيد الى جزيئات أكبر ربما تحصل لأن توجه المونومرات في الحيز الثنائي البعد المهد.

بطبقات الدهنية اثناء دورة الجفاف يراصفها لتشكيل رابط ثنائي ايستر الفوسفات (phosphodiester) •

ويعتقد ديمر وهارغريفز ان الاغشية الابتدائية في الارض البدائية كانت اما جزئيا او غالبا دهنية. وحتى قلما تصبح عملية التشيل الحيوي (biosynthesis) حقيقة واقعة، كان يمكن ان تتواجد قوى انتقائية فضلت الاستقرار التي ركزت الفوسفودهنيات المتوفرة في خلايا معينة. وكانت التفاعلات الايونية والماء تنافرية بين دهنيات وهضيتيدات الغشاء لتتيح للاخيرة لتحشر في بنية الغشاء، وربما حققت فيها انفاذية انتشارية انتقائية. وفي الاخير كان تشيل البروتينات يؤدي الى نشأة بروتينات مدمجة في الغشاء لوظائف نوعية كإنزيمات او كموامل لنقل المواد الى ومن الخلية.

كانت جميع القوى الطبيعية متواجدة في البيئة البدائية لتوفير مستلزمات الالتئام الذاتي للخلايا البدائية، لقد تواصلت النشأة ممتدة من المواد الجسدية وحتى الجزيئات الضخمة والبنى الخلوية الى الخلايا الاولى في عمليات تفاعل تلقائية تسلسلية. وعند تأمل عدد الوقائع الممكنة نجد لا بد أن مسلسل التفاعلات امتد تكرارا الى انواع خلوية تسكنت من اجتياز العتبة الى النشأة البيولوجية. ومن تلك اللحظة فصاعدا كانت دخلت الميدان لتفوز بمعترك المستقبل.

الفصل الرابع والعشرون - ظهور الخلايا

اندثر المشهد البدائي وزال من الوجود، واضمحلت المواد ما قبل الحياة التي ولدت الخلايا الحية الاولى واندurst معالمها منذ زمن بعيد في عمليات دورية تكرارية لا تعد ولا تحصى قامت باستهلاكها واحالتها فيها ذات المتعضيات التي كانت مرة قد خلقت . ولم يتبق شيء ليشهد على ذلك الحدث الجلل قبل أكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة على الأرض الأركية حين التقت المادة والطاقة لتخلقا كيانا حيا كتب له في النهاية أن يتكاثر وينتشر في كل بقعة وزاوية في القشرة الرقيقة المائية والغازية التي تنغمد الأرض، ومن ثم ليمد مجساته الى الخارج نحو الكون الرحب الفسيح.

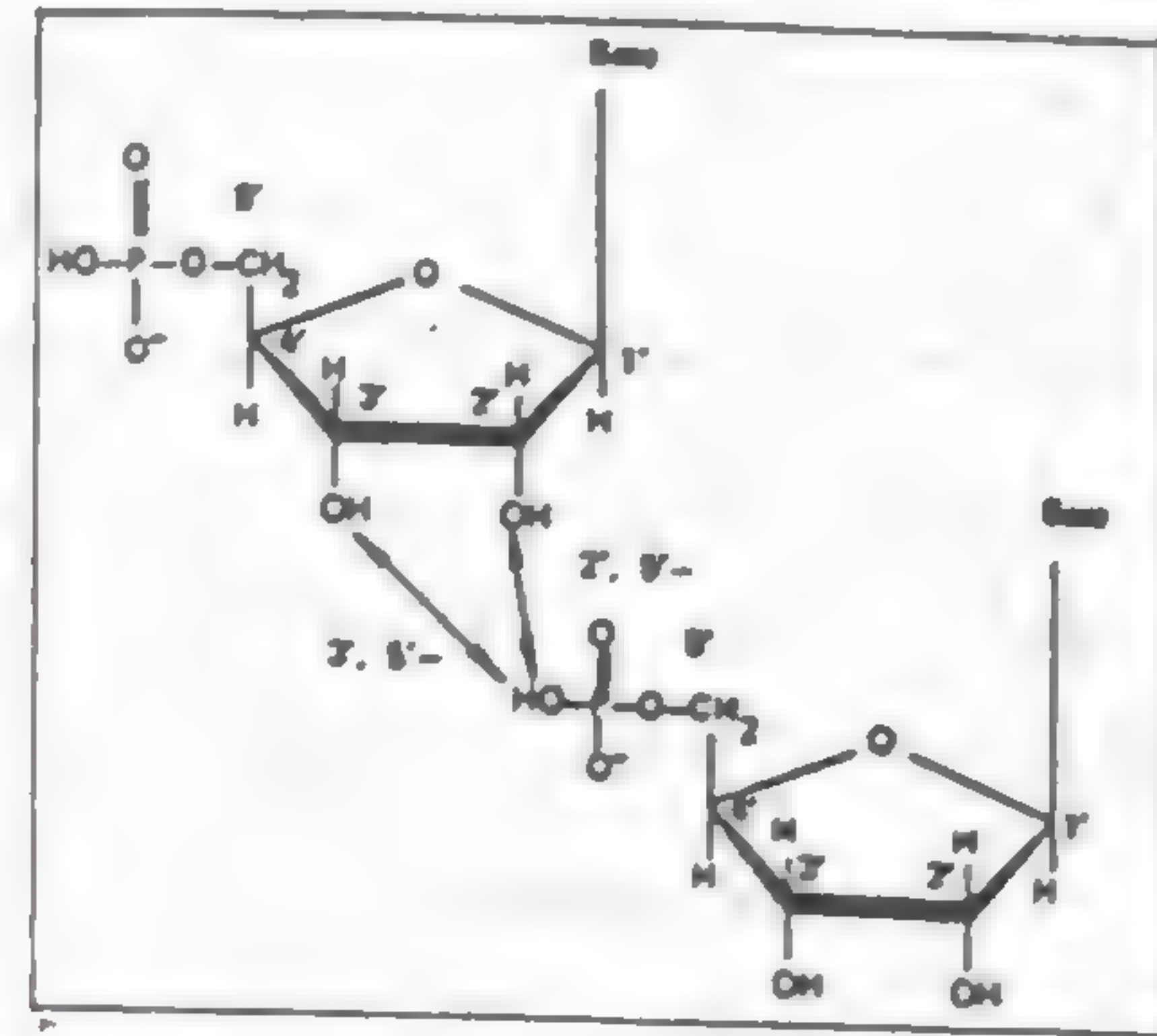
لكي نرسم الاحداث التي تواترت بين ما قبل ثلاثة الى اربعة آلاف مليون سنة خلت، يقتضي بنا أن ندرس انماط عمليات الحياة ونثبت من تيارات السلوك الملموسة ونحاول اقتفاء الخطوات التي تعاقبت بها الحياة . آتذ فقط نستطيع ان نقفل راجعين في الزمن الى ما وراء بداية التوالي او مخلوقات الدهر الوسيط واللاحشويات والاسفنج، ونعبر الى ما قبل ظهور اليوكاريوت، الى ما قبل مجيء الاوكسجين كمقوم حياتي، ثم تتجاوز الى العالم الحار النزع الغريب الذي كان سائدا في الدهر الأركي حين كانت البحار ضحلة ضحفاة تسف حول القارات الطرية الحديثة النشأة التي كانت آنذاك مجردة ومسودة بترعصات وتشنجات البراكين التي تمخضت عنها.

انحرفت المواد ما قبل الحياتية التي تكونت على الأرض البدائية الى البطاح المنخفضة وتجمعت فيها وأخذت تتفاعل مع بعضها في حشود لا تحصى من الالتئامات والالتحامات الكيميائية الممكنة، فتحلأ بعضها بسرعة ليعود ويلتئم مرة أخرى بكيفية مختلفة، وترسب غيرها أكثر استقرارا منها وبدأ بتراكم . ونشأت الحياة عن الالتحامات التي تمكنت من الاستمرار في البقاء.



لكن استمرار بقاء المواد الكيميائية الذي يعتبر اعتياديا ناشئا عن مقاومة التسخن، ثم في هذه الحالة بطريقة أضمن من ذلك الى حد كبير. فالطريقة التي تمكنت بها أمزجة كيميائية من مواصلة استمرارها وتخليد بقائها كانت بتناسخها ذاتيا.

بدأ الامر بالنووتيدات. فقد كان بوسع هذه الكيميائيةات الاشياء ببعضها في اشكال شتى ضعيفة بواسطة الترابط الهيدروجيني، بعضها أقوى من بعض، ولكنها جميعها سهلة التحلل والانفكاك في المحلول. عند تحويلها الى مشتقات منشطة مثل البولي فوسفات والفوسفوراميدات وثنائي ٣. و ثلاثي ٣، الفوسفات الدائرية تكثفت النووتيدات في سلاسل قصيرة، وفي أغلب الاحيان تضامت المونومرات الى بعضها في ترابطات اسهامية ثنائية ٢، خماسية ٥، وكذلك في اربطة ثلاثية ٣، خماسية ٥، الموجودة في المنظومات البيولوجية.



لكي تمكن من التناسخ بوجه فعال كانت بولي نووتيدات المتعضية تحتاج لتكون من صنف واحد من الترابط الاسهامي. فبأية وسيلة تسكنت الخلايا البدائية من الوصول الى بولي نووتيدات ذوات اربطة موحدة متسقة؟

طرح ديفيد أشر^(١) من جامعة كورنيل مخططا يبين كيف تمكنت النووتيدات المتضمنة اربطة من صنف ثنائي ٢، خماسي ٥، (اي: 2', 5' linkage) ثلاثي ٣، خماسي ٥، بالتدريج من ان تصبح بولي نووتيدات ثلاثي ٣، خماسي ٥. بفعل نمط دائري في الطبيعة. عندما تلتوي اوليغونووتيدات ذو اربطة ثلاثي ٣، خماسي ٥، في لولب مزدوج تصبح لديها مقاومة اكبر للحلأة من النووتيدات ذوات الاربطة ثنائي ٢، خماسي ٥، التي تصدع التضرية اللولية، وبنعريض بوليمرات مختلطة لاحوال دورة طبيعية، ستزع الحلأة التفاضلية للرابط ثنائي ٢، خماسي ٥، الى استحثاث تراكم البولي نووتيدات البيولوجية.

في مخطط أشر كانت النووتيدات (نووسيدات: nucleosides 2'3'-phosphates) لتسخن وتشتوي في تواجد الايميدازول والمحفزات اللاحيوية الاخرى. ثم عقب هذه عملية تبريد وازافة القليل من الماء. ويقترح أشر ان بتكرار هذه الدورة مرارا ومرارا كان ليحصل تراكم متزايد من الاوليغونووتيدات ذوات الترابط الاسهامي ثلاثي ٣، خماسي ٥، (3', 5' linkage). وهذه عملية كانت لتحصل كثيرا على الارض البدائية.

طلعت الشمس في كل صباح متعالية على وجه الارض الاركية واخذت حرارتها تكثف النووتيدات الى اوليغومرات مختلطة. وبانقضاء النهار هبطت الحرارة فتساقط الندي على البوليمرات وبللها. وفي اثناء فترة الليل وجدت بعض الاوليغومرات ذوات الاربطة ثلاثي ٣، خماسي ٥، (3', 5' linkage) في المحلول اندادا متسمة لها لتكون معها لولاب قصيرة. وفيما طلعت الشمس مرة أخرى لتكرر الدورة كانت النووتيدات الملفوفة في اللولاب محمية لحد ما من الحلأة فيما تعرضت النووتيدات المرتبطة ثنائي ٢، خماسي ٥، (2', 5' linkage) للحمأة التفاضلية. وتعاقت الدورة يوما أثر يوم، وفي كل مرة يزداد عدد البولي نووتيدات المتبقية في اربطة ثلاثي ٣، خماسي ٥، (3', 5' linkage) في سلاسل أمول فائز.

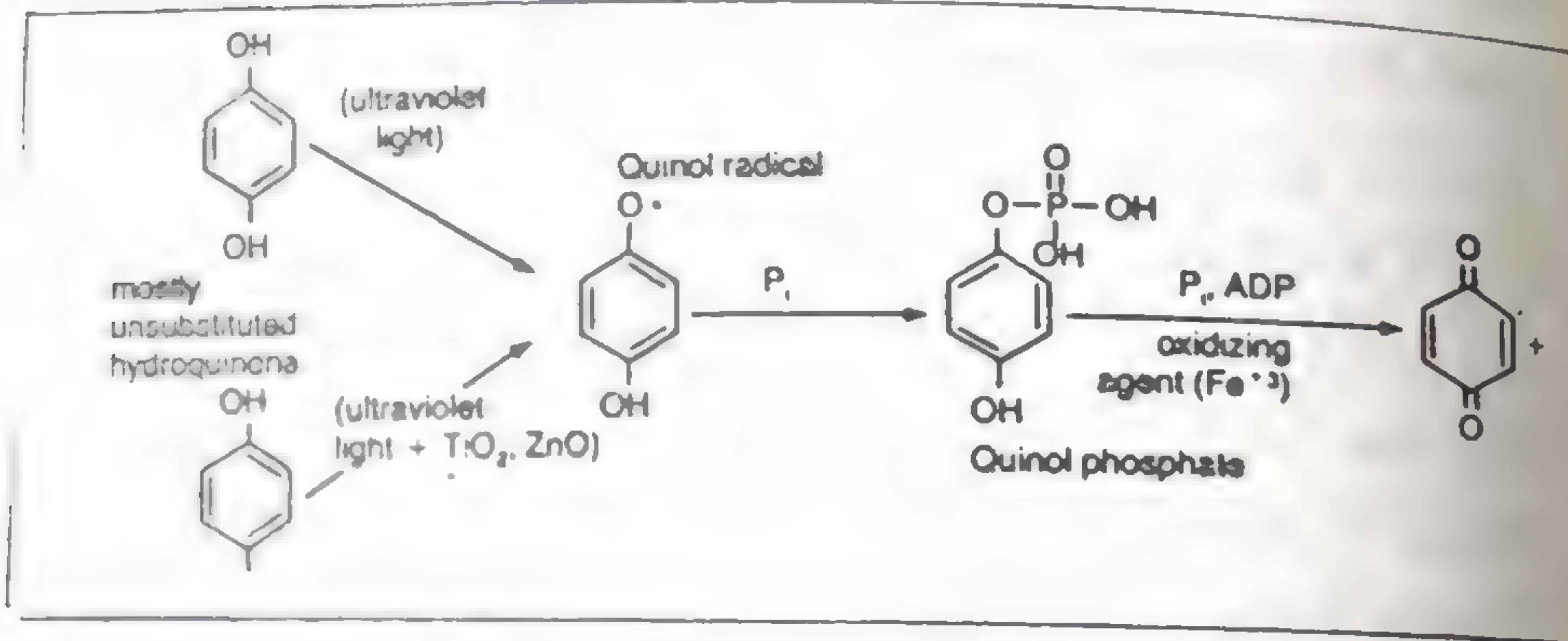
كانت النوتيدات بقواعدها من البيورين والبريميدين مجرد مواد كيميائية . لكنها مع ذلك كانت تملك القدرة على تشكيل الترابط الهيدروجيني، ليس مع نوتيدات أخرى مثلها، وإنما مع نووتيدة ذات قاعدة من الصنف الآخر . بهذه الطريقة كانت البولي نووتيدات تصنع سلاسل من النوتيدات المتسمة التي تكون الالتصاقات الأكثر استقرارية . بدأ تناسخ الجزيئات على الأرض يتم فقط من خلال فصل البنية المزدوجة الوهن ومنع نسخة من «المالبة» . ومع تمام هذه العملية أصبحت هي الأساس لتأييد أو مواصلة الانواع الجزيئية .

لكي تستطيع البولي نووتيدات مواصلة تكونها دعت حاجتها الى طريقة تشييط عملية ووقاية من الاشعة ما فوق البنفسجية الشديدة التي تحطم بنية النووتيدة ، عملت الترسبات على وقاية البولي نووتيدات المتعطية ولكنها لم تتح لها ما يكفي من المجال لمواصلة التفاعل ، وفقط عند غورها الى اعماق تحت غطاء سميك من الماء ملكت البولي نووتيدات الحرية للتحرك في المحلول وهي محمية من الاشعاع الشرس (ملاحظة : ان ضوء ما فوق البنفسجي بموجة طولها ١٨٠ نانومترا ينفذ الى عمق أقل من سنتيمتر واحد ، بينما بموجة طولها ٢٨٠ نانومترا يتخلل مسافة عشرة امتار في الماء قبل انطفائه) . والجزيئات المتناسخة التي كانت قد انجرفت الى البطاح المنخفضة وجدت نفسها في الاخير متصدقة في الحويصلات التي تكونت من الرقيق الدهني المرن الذي غطى المياه البدائية .

بهذه الطريقة بقيت متمسكة في اتصال او تعاشر وثيق مع حيازتها على حرية الحركة التي كانت تملكها في المحلول المركز حيث تواجد قدر قليل من الماء . انما لمواصلة البقاء في الماء دعت حاجتها الى امداد من الطاقة الطليقة ، أي أنها احتاجت الى التفسر . ويبدو انه كان في هذه المرحلة أن استنبطت

انخلايا الناشئة نوعا بدائيا من عملية التمثيل الضوئي .

يقترح ستيلويل^(٢) في ورقته حول نشأة الفسفرة الضوئية ان في الاحوال الاختزالية والضوء ما فوق البنفسجي الشديد للأرض البدائية كان بوسع الاشكال الاولى من الخلايا استخدام الفسفرة الضوئية المبنية على فوسفات الكوينول (quinol) لانتاج ما تحتاجه من الاتب ATP وغيره من النوتيدات المنشطة . في الخلايا المعاصرة تتواجد الكوينونات (quinones) في سلسلة الفسفرة الضوئية . لكن اليخضور وشبه الجزينات (carotenoids) هما البمعان الابتدائيان (initial collectors) للضوء المرئي . ويعمل ستيلويل ان مسلسل المتفاعلات بدأ بالاصل بالكوينون وامتد الى مصاصات أو عوامل ماصة للضوء المرئي أكثر فعالية مع اضمحلال شدة الاشعة ما فوق البنفسجية عند بدء الطبقة الاوزونية بالتكون .



الشكل ١/٢٤ - نموذج مقترح الفسفرة باستخدام الضوء ما فوق البنفسجي لانتاج الاتب ATP .

كان الضوء ما فوق البنفسجي مدمرا قاتلا بمقادير كبيرة ولكنه كان ايضا مصدر الطاقة الاكثر غزارة تزود منه المواد البسيطة . تتكون فوسفات الكوينول (quinol phosphates) من تعرض الهيدروكوينون (hydro-quinones) للضوء ما فوق البنفسجي بحضور الفوسفات اللاعضوية . ان فوسفات الكوينول عوامل فسفرة قوية وبمعية المشبوكة الكبريتيد الحديد القابلة للذوبان في الماء (وهي طليعة الفريدوكسين) تقوم بفسفرة الادب والأتب، وعلى ما يظهر كانت النووتيدات الاخرى تملك القدرة على التنشط بنفس الطريقة.

فائدة هذا النموذج هي انه يوضح انه كان من الممكن أن تكون الفسفرة الضوئية قد نشأت في زمن مبكر من تكون الحياة من المواد البسيطة بدون البنية الغشائية المعقدة التي عثر عليها في آلية التمثيل الضوئي التي نشأت في زمن لاحق . وفيما نما الجهاز الجيني لدى المتعضيات واصبح اكثر عرضة للتلف بفعل الضوء ما فوق البنفسجي كانت الخلايا تستطيع الازدهار في اعماق او مناطق تنال القدر الامثل من الضوء للفسفرة ومواصلة البقاء.

وفي الاخير بعد ان تطورت المتعضيات الى نقطة ملكت معها قدرة تمثيل اعظم اصبحت قادرة على تنمية عملية التمثيل الضوئي مبنية كليا على التنشيط من الضوء المرئي باستخدام البورفرين ، وهي صنف الكيمائيات الذي يشمل اليخضور . يبين ستيلويل أنه حتى بعد ادخال استخدام البورفرين (porphyrins) مع كبريتيد الهيدروجين والهيدروجين والمركبات العضوية المختزلة كموردات الكترون (electron donors) ، ربما استمر انجاز الفسفرة بواسطة فوسفات الكوينول ، ولم تفقد الكوينون (quinones) دورها كموامل فسفرة الا بعد أن اصبحت مشبوكة البورفرين - الكوينون - كبريتيد الحديد محبة للماء

ومرتبطة ببنية غشائية دقيقة محكمة ، وأنداك آلت الى مجرد مكوكات (shuttles) للالكترون والبروتون في آلية التمثيل الضوئي، وهو الدور الذي تقوم به حاليا.

كان يمكن أن تكون هذه الخلايا البدائية وشكلها الخام من عملية الفسفرة الضوئية وتناسخ البولي نووتيدات كثيرة الاعداد ، لكن الحياة آنذاك كانت تسير بخطى معوقة بطيئة . كانت التفاعلات بطيئة ، احيانا تستغرق اياما، وشهورا، وحتى سنوات، بسبب عدم وجود الانزيمات. لم تكن الاغشية الدهنية يتم توليدها بالتمثيل الحيوي، انما كانت لا تزال معتمدة على الترسيب الدهني ما قبل الحيوي المتراكم . ربما تواجد شكل خام من تبادل المواد بين الحويصلات عند اتحاد اثنتين منها ثم انقسامها ثانية ، أو عندما كانت خلية متواجدة تتصل بها وتمتص مزيدا من الدهنية فتتفصل الى خليتين اثنتين مختلفتين، خلال هذه الفترة كانت الخلايا لربما مقتصرة على بيئات محصورة كالبحيرات البركانية ومناطق انحصار الماء الملائمة والمساعدة على اللقاءات.

ربما بقيت الخلايا البدائية موجودة في هذه المرحلة لمدة ملايين ولا يستبعد مئات الملايين من السنين . كانت الحوامض الامينية ومواد عضوية أخرى موجودة في البيئة المائية ، ولكنها لم تكن ذات اهمية تذكر . ولربما كانت الحوامض الامينية التي تسربت الى الخلايا احيانا تشكل ادنيلات (adenylates) وبالتالي هضميتيدات قصيرة فيما كانت لا تزال بمثابة الايمينات

(imines) او بواسطة تشابك مجموعاتها الامينية بمكون خلوي باطني . غير ان هذه ربما لم يكن لها أي مفعول على الخلايا آنذاك ما عدا مجرد التكميم.

كانت البولي نووتيدات لتعرض للتغير بالتبدل الطفري خلال هذه الفترة، انما كان يمكن ان تنشأ التنويع الاكظم من تبادل البولي نووتيدات

قصيرة بين قطين الخلايا (cell population) . كان اقتران هذه الوحدات في وحدات أطول على فترة مديدة من الزمن ليفضي الى عدد هائل من المؤتلفات. ويبدو من المعقول الافتراض انه كانت احدى هذه البولي نووتيدات هي التي أعطت جزيئة انطوت خلفيا على نفسها واتخذت شكلا ثلاثي الابعاد امتسك معا بالقواعد المتسمة المقابلة ، وذلك بعد ترجمة البولي نووتيدة الى سلسلة متسمة، ثم اصبحت أول رنأ ناقلة (transfer RNA) وأصبحت سلسلة النووتيد التي تم نقلها او ترجمتها منها الجينة الاولى.

وبما ان الترجمة او النسخ (transcription) تشكل علاقة واحدة بوحدة (one-on-one) فلم تفسح حاجة الجينة لأول رنأ ناقلة الى طول أكثر من طول الرنأ الناقلة ذاتها. قامت مرغريت دايهوف وزملاؤها^(٢) في مركز طب جامعة جورج بواشنطن بدراسة التطور الجزيئي للرنأ الناقلة وتجنح الى القول ان النتائج كلها تشير بقوة الى ان الرنأ الناقلة جميعها مشتقة من جينة مفردة واحدة. جميع الرنأ الناقلة مثلية من C, G, A, U. A G, C وكلها تتضمن سياق ترامر مماثل في فص واحد، وجميعها تنتهي في CCA وجميعها تملك حوالي نفس الطول . كما يشير الباحثون ان احتمالية حصول حتى اثنتين من مثل هذه الجزيئات المتشابهة بالتطابق مستقلتين عن بعضهما وبفلس الوقت في نفس الخلية كانت ضئيلة للغاية . من جهة أخرى ، كان تاسخ (duplication) جينة الرنأ الناقلة متبوعا بتغيرات التبدل بالطفرة مستقلة في الجينات المنفصلة ليفضي الى منتوجات شديدة التشابه . والتضاعفات اللاحقة وسعت عدد الرنأ الناقلة بما يستوعب تنويعا من الحوامض الامينية. أما ان الرنأ السلف تقبلت حوامض امينية من ادينيلات الحوامض الامينية ، او ربما ان نهاية CCA الطرفية للرنأ الناقلة كانت قد جرى تنشيطها

واقترانها مباشرة بحوامض امينية . ايا كان الامر ، من الواضح ان الرنأ الناقلة بدأت كوسيط لا نوعي في تكثيف الحوامض الامينية عندما تراصت مشبوكة الرنأ الناقلة - الحامض الاميني في سلسلة بولي نووتيد تعمل كحامض نوويك رسول معاصر . لا يزال غير مفهوم تماما كيف طورت الرنأ الناقلة نوعيتها، رغم النوعوية الرابطة لكل رنأ ناقلة بحامض اميني معين تكمن في الانزيمية التي تنفق الارتباط . الا ان الرنأ الناقلة تمكنت في النهاية من ادخال آلية لتكثيف الحوامض الامينية الى هضيتيدات متناظرة مع سياق النووتيدات في الجزيئة الرسول.

الريبوسومات هي جسيمات فرع خلوية تلعب دورا جوهريا في تمثيل البولي هضيتيدات . وبدون الريبوسومات لا تبقى مشبوكة الرنأ الناقلة - الحامض الاميني مرتبطة بالرنأ الرسول لفترة تكفي للتفاعل . لكي تتمكن الخلية البدائية من بدء الآلية دعت حاجتها الى شيء ما للمشاركة كريبوسومة او ان يتسنى لها أن تنجز هذه الخطوة بكيفية ما بدون معونة هذه الجسيمات.

يرى فرنسيس كريك وآخرون^(٤) ربما ان تمثيل البروتين الابتدائي حصل لدى الرنأ الناقلة التي تترايط بخمسة ازواج قاعدية بدلا من ثلاثة ، على الرنأ الرسول، كما هي الحال لدى المتعضيات المعاصرة . بهذه الطريقة كان الارتباط ليكون من القوة بما يكفي لمسك مشبوكة الرنأ الناقلة - الحوامض الامينية في مكانها لفترة تكفي لحصول التكثف بدون الريبوسومة . كما اقترحوا ايضا ان كان قد تم تدوين اربعة حوامض امينية فقط للآلية الاصلية هي الغلايسين ، والسيرين ، وحامض الاسبرتيك، والاسبأراجين (asparagine) نظرا للتقييدات الناجمة المفروضة الكودونات من جراء ذلك.

من جهة أخرى تتألف الريبوسومات المعاصرة من زهاء خمسين بالمائة

(٥٠٪) من حامض النويك والباقي من تنويع من البروتينات . يبدو من الأكثر احتمالا أن تمثيل البروتين بدأ على الريبوسومات البدائية المتكونة من مشبوكات البولي نووتيدات وعملت الثلاثية او الثلاثية بصفة الكودونة منذ البداية.

ربما لم تكن جميع الحوامض الامينية التي استخدمتها المتعضيات اللاحقة قد تواجدت ما قبل بيولوجيا . لكن حامض الاسبرتيك، والفلايسين، والسيرين، والالانين، وهي الحوامض الامينية الالفا الاكثر شيوعا التي تولد عن السيانييد والموجودة بكثرة في الفريدوكسين، كانت ببالغ التاكيد ما قبل حياتية. أما الارجنيين والمستيدين اللذان لم يتم انتاجهما بتجارب الافتعال، فلربما انهما نشأ فقط من خلال التمثيل الحيوي فيما تقدمت المتعضيات في تطورها.

توجد فئتان من الحوامض الامينية، الحوامض الامينية البنيوية والحوامض الامينية من ذوات المجموعات الوظيفية على السلسلة الجانبية. وبعض هذه الاخيرة، لاسيما التي لها مجموعة قاعدية مرفقة، تلعب أدوارا حيوية في الانزيمات ولكنها لا تتكون بسهولة وسرعة في التجارب الافتعالية. نتيجة، ربما ان مركبات ما قبل حياتية أخرى كانت قد عملت كبدايل الى أن تطور التمثيل الحيوي لهذه الحوامض الامينية . وكمثال هو ٤-امينو-ايميدازول-٥-كربوكاميد (4-amino-imidazole-5-carboxamide) وهو مشتق الايميدازول من سيانييد الامونيوم، ربما كان قد عمل بصفة الهستيدين (histidine) للخلية الناشئة . كما ان التريبتوفان (tryptophan) والفيل الانين، والتيروسين، والميثيونين، هي مرشحات أخرى ربما انها نشأت عن تمثيل حيوي.

ما ان است الخلية الاولى درجة من النوعية للرنأ الناقلة مع مناظرة الحوامض الامينية بسياقات النووتيد في البولي نووتيد الرسول، فان اية هضميتيدات ذات فائدة لم تعد تكون عفوية الحصول وانما امكن انتاجها بحسب الحاجة اليها، مضافة على الخلية بذلك ميزة انتقائية. كان الفريدوكسين السلف احد اول الهضميتيدات الناشئة، وقد قام ايك (Eck) ودايهوف (٥٠) بتقني اثره عكسا الى تتراهضميتيدة او رباعي هضميتيدة (tetrapeptide) يتألف الفريدوكسين، الذي هو الآن بروتين كبريتيد الحديد، من خمسة وخمسين (٥٥) حامضا امينيا في اشكال الحياة المتقدمة، ونشأ بالتطور الى جزيئة متنامية في الكبر بالتوالي، وفي كل تغير له تناول بروتينة جديدة كانت أكثر كفاءة من سابقتها كحاملة الكترون . وهذا قلما يترك شكاً في ان هذه هي الكيفية التي نشأت بها الانزيمات.

ربما كانت الخلية البدائية قد بدأت منذ زمن سابق تستخدم كبريتيد الحديد كمخزن أما لوحده او مرتفقا بالسيستين، او مع هضميتيدة لا حيوية من نوع ماء. ويبدو ان نشأة الفريدوكسين التطورية بدأت بالهضميتيدة (الاسب-سرغلي) (ala-asp-sergly). أما جينة الهضميتيدة، وطولها اثنا عشرة (١٢) نووتيدة فتضاعفت في النهاية، وفيما اصبحت قدرات التمثيل لدى المتعضيات اكثر مطواعية وكفاءة، تمكنت الآلية الجينية من استدماج حوامض أمينية أخرى . كانت السيستين بين هذه الحوامض الامينية، ثم ارتفق الرابط الكبريتيدي بكبريتيد الحديد . والتبدلات الطفرة التي حورت وزادت سياق الحوامض تعقيدا خلقت مسلسلا من التغيرات افضى في النهاية الى مشبوكة من كبريتيد الحديد والبروتين شديدة التعقيد ذات قدرة متمكنة للغاية.

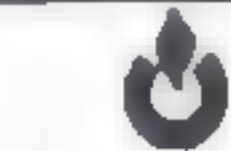
ليست الانزيمات مواد مفذاذة وانما تبدو كذلك فقط بفضل كفاءتها

المتاهية التي تتضاءل ازائها كل المحفزات الاخرى بالمقارنة . وقد خلق هذا الفهم الخاطئ، الفكرة انه كان ليتعذر على اية منظومة بيولوجية ان توجد بدونها . وهذا بالتأكيد يصدق على اية متعضية بالقياس الى الحياة المعاصرة، لكن الخلايا البدائية كانت موجودة لفترة عدة مئات من ملايين السنين قبل أن تنشأ الانزيمات . غير انه ما ان نشأت الانزيمات كانت فائدتها الانتقائية للخلايا هائلة لدرجة ان الخلايا ذوات الانزيمات أخذت تتكاثر وتنتشر بسرعة، مكتسحة امامها جميع انواع الحياة البدائية الاخرى.

نشأت الانزيمات من مواد ايسر واقل كفاءة منها كانت تقوم بنفس الوظيفة التي تؤديها هي، فالحستيدين والبيريدوكسين وكبريتيد الحديد وغيرها كلها مواد تقوم بتحفيز التفاعلات الكيميائية وهي ايضا مكونات أصبحت جزءا من سلاسل الهضيمية أو تشابكت معها في توليفات تنفق التفاعلات بسرعة اكثر مما لو كانت لوحدها . وفي الاخير نشأت الانزيمات من عملية تطور تمثيل البروتين التي جمعت هذه المواد الكيميائية التحفيزية ودمجتها في بنيتها كجزء منها لتصبح محفزات حيوية او بيو محفزات.

وأول الانزيمات التي نشأت كانت ستكون تلك التي تسهل وظيفة آلية التكاثر ، وكل فائدة تولدت للتناسخ انطلقت تنتشر مع الخلايا السريعة التوالد في جميع انحاء القطين، وبهذه الطريقة اعطى الفريدوكسين، بتسريع عملية الفسفرة الضوئية ، فائدة مميزة للخلية البدائية . لم يتم بعد استيفاح التفاصيل البنيوية للانزيمات ذوات الصلة بلمرة وترجمة العمليات الى النقطة التي يمكن معها تعريف وتحديد اصول الانزيمات ، انما يفترض ان هذه الانزيمات كانت لتكون من بين الاوائل التي ظهرت في المنظومات البيولوجية.

لقد اكتشفت اعتق احافير المتعضيات المتواجدة على الارض مطلقا في تشكيلتي شجرة التين والانفرواكت في ارض او اقليم جبل باربرتون من شرقي



الترانسفال بجنوب افريقيا. تقع الاحافير في احجار الطر الخام التي تظهر احيانا في طبقات افقية انما في الاغلب في جيوب كانت قد تكونت في سطح لابة عتيقة ، هناك، في مياه البحيرات البركانية الغنية بالفلزات ازدهرت اعتق اشكال الحياة على الارض، وانقرضت، واندفنت في الرواسب لتبقى مقبورة طوال ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون من السنين .

فهل كانت هذه الخلايا البدائية التي تكونت بالاول من التمام مواد ما قبل حيوية لتشكل الحياة ، أم كانت هذه حياة متطورة عن تهذيب الآليات الجينية والتأضية وتشذيبها لفترة استغرقت مئات الملايين من السنين؟ في دراسة مقارنة لنشأة السيتوكرومات والرنا الناقلة قام ماكلافلين (McLaughlin) ودايهوف^(٦) باحتساب زمن ظهور البروكاريوت ووجدوا انه أبعد في القدم بقدر (٢٠٦) ضعف من زمن نشأة اليوكاريوت. فاذا كانت اليوكاريوت قد ظهرت في ما قبل الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة ، كما اوحى اليه الاحافير المجهرية لدى بريستون كلاود، فربما ان الخلايا البدائية كانت موجودة قبل ثلاثة آلاف وتسعمائة (٣٩٠٠) مليون سنة.

وهذه في الواقع باهرة تماما . اذ باعتبار ان الارض تكونت قبل اربعة آلاف وستمائة (٤٦٠٠) مليون سنة وتبعثها مرحلة تي تاوري (T. Tauri) للشمس، فان هذا يتيح أقل من الف مليون سنة لتكون الجو والمياه من فعل البراكين، ولاتاج وتراكم المركبات العضوية ما قبل البيولوجية ، ولقيام الخلايا البدائية وتطورها الى متعضيات وظيفية تامة . فتتمثل هذه السبعائة (٧٠٠) مليون سنة بالتقريب الفترة الزمنية لأول تكون للجبال ، حيث تراكمت الحرارة من النشاط الاشعاعي في الارض ومرت خلال دورة بناء الجبال . وظهرت الخلايا البدائية مبكرا لدرجة لا بد ان العمليات التفاعلية التي أفضت الى تكونها كانت شديدة الاحتمال ، وفي الحقيقة شديدة الاحتمال لدرجة تستوجب اعتبار ظهورها حدثا حتميا كان لا بد منه.



الفصل الخامس والعشرون - الخلية العجيبة

كانت الخلايا العتيقة الاولى التي عامت متدرجة بفتور وضئى في مياه البحيرات البركانية الدافئة في الدهر الاركي مجرد البداية . لكنها كانت حية جينيا او انساليا . كانت قد اجتازت العتبة ولم تعد الآن مجرد جزيئات جمادية لا حياة فيها، وكانت الواحدة منها التثاما من مكونات شكلت وحدة تضم نووتيدات نشيطة تكثفت الى بولي نووتيدات على بولي نووتيدات أخرى، وتقوم في اثناء هذه العملية بوظيفة التكاثر الجزيئي . لكن، مع ذلك، ربما كان الامر سينتهي هناك لولا خاصية خطيرة واحدة . لقد كانت هذه الخلايا الاعتق تملك القدرة على التغير . فبقي الباب مفتوحا قليلا .

عاشت الخلايا كحشد من التفاعلات الكيميائية ، وكل تحسن في كفاءة هذه التفاعلات جعل الخلية اكثر تنافسية على المواد المتوفرة في الوسط ، والخلايا التي سادت كانت تلك التي ملكت القدرة على الوصول الى مكونات لها اشد الفعالية في التكاثر وعجلت وتأثر التفاعل . وهذه القدرة على التغير مع ميزة احتمالها على الاشد كفاءة هي التي رفعت الخلايا الفطرية البدائية من مجرد كونها مواد حية جينيا ليس الا الى المتعضيات كما نعرفها اليوم بقدراتها البارة على التأيض .

تمعج الدرب الى خلايا حية ايضا وتلوى في مهامه ومضايق التغير، كل منها مضاف تحسينا على قدرة الخلايا على تحفيز تفاعلاتها البيوكيميائية ، الى أن تتوجت هذه في الاخير بالمحفزات الاكثر اعجابا في الوجود ، ألا وهي الانزيمات . لكن قبلما يقيض للانزيمات لتصبح جزءا من الآليات الخلوية لابد ومضت فترة طويلة تم في اثنائها وضع الاسس اللازمة لظهورها .



دخلت الحوامض الامينية ، والبيورينات، والبريبيديونات والدهميسات الى المنظومات البيولوجية كاملة تامة التكوين ، وكانت هذه لبنات البناء للمكونات البوليمرية المكثفة والبنية الخلوية. الا ان البروتينات مركبة من تنوعة من الحوامض الامينية اعظم بكثير مما يبدو كان متوفرا في خزن المواد ما قبل الحيوية . مع ذلك، كان يمكن ادخال بضعة حوامض امينية بعد بداية عملية تمثيل البروتين. وما ان اصبحت البروتينات القوام الرئيس للوظيفة الخلوية فان أي تغير في حامض اميني مفرد كان يؤثر ليس فقط على بروتين واحد وانما على جملة كبيرة منها ، ولهذا السبب يبدو ان مسلسل الحوامض الامينية ظهر في الوجود قبل مجيء الانزيمات.

ينظر الى الحوامض الامينية عادة بمنطوق وحدات فرعية من البروتينات. ولكنها ايضا تعمل كطلائع لمواد بيوكيميائية أخرى بما فيها حوامض امينية غيرها، وكانت الحوامض الامينية الاسهل والاسرع اتاجا من السيانييدات، أي الآلانين ، والسيرين، وحامض الاسبرتيك، والغلايسين، لتكون متوفرة في البيئة بأعظم المقادير . ومن هذه الحوامض الامينية القلائل بذاتها تقوم الخلايا المعاصرة بتثيل تنوعة كبرى من مكوناتها الاساسية ، وذلك لرأساً بواسطة مسالك كيميائية تناقلت عبر الاجيال من الخلايا البدائية العتيقة . اذن، حتى قبل ظهور الانزيمات لابد انه كان يجري تمثيل حوامض امينية من اصل وراثي حيوي في الخلايا البدائية من خلال استحداثات كيميائية بسيطة كانت هي طلائع التفاعلات البيوكيميائية القائمة اليوم.

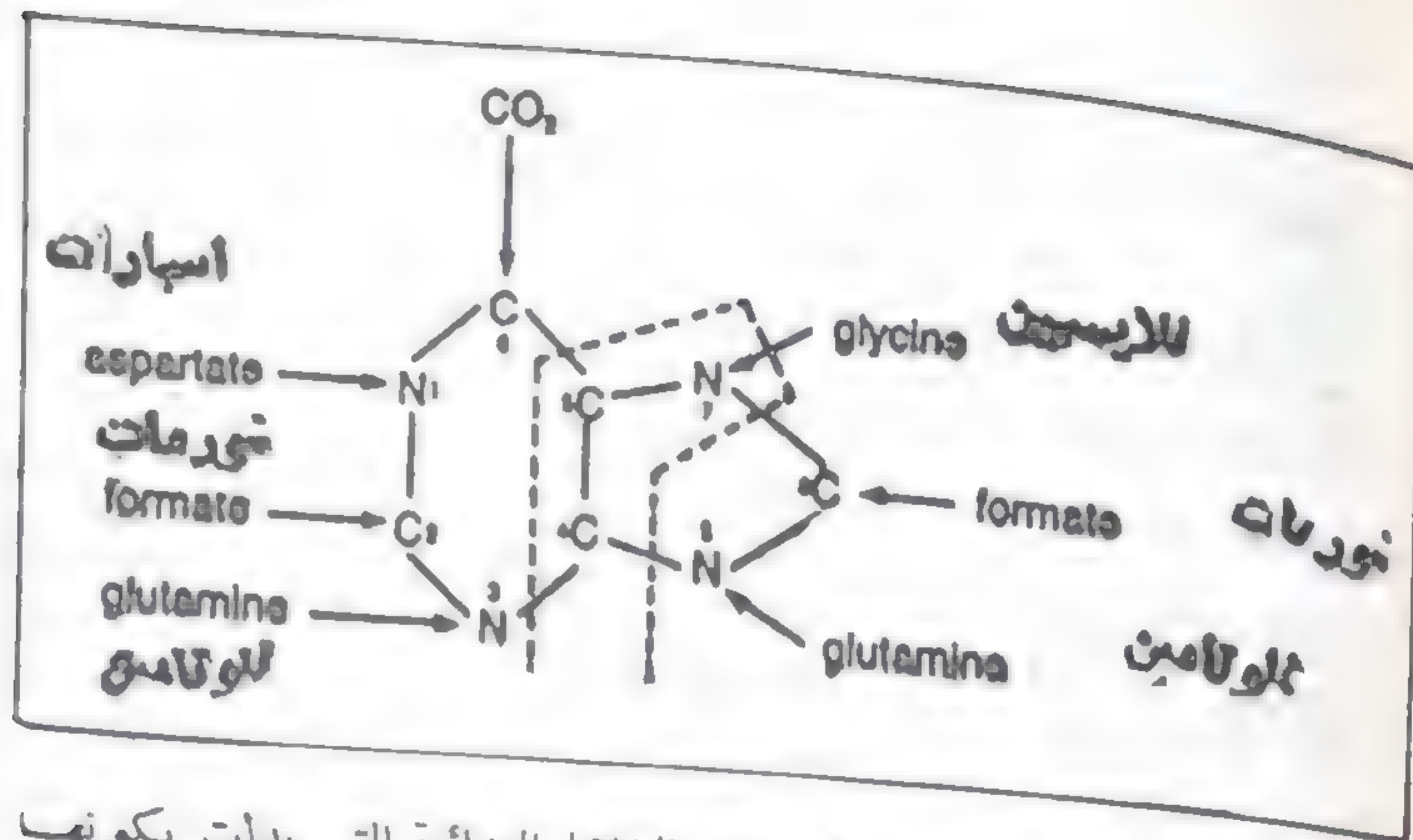
في العموم ، تشمل عملية تمثيل الحوامض الامينية على مناقلة مجسوءن وظيفية (—NH_2 , —CH_3 , —CO_2 , $\text{—CH}_2\text{OH}$, —CHO) من مكون او حامض اميني الى آخر. يمكن بتفاعلات المناقلة المجموعائية تحويل بضعة حوامض

امينية الى تنوعة واسعة من حوامض امينية ومقومات بيولوجية جوهريه أخرى. وهذه التفاعلات وغيرها هي التي يعمل حامض الاسبرتيك فيها كطليعة للبيورينات، والبريبيديونات، والآلانين، والثريونين، والليسين ، والمثيونين، والارجنين. ويمكن أن يتجرد السيرين ، وهو حامض اميني آخر مشتق من سيانيد الهيدروجين ، الى يروفات، كما يمكن لعملية نزع الكربوكسيل (decarboxylation) بدورها ان تؤدي الى الخلات (acetate) والخلات بدورها بشكلها المنشط بصفة الانزيم المساعدة أ (acetyl coenzyme A) تدخل مباشرة في عملية تمثيل الدهون للغشاء الخلوي.

انه لمعجب حقا كيف تمكن بضع مواد ان تعمل كطلائع لمكونات حيوية أخرى. وفي بعض المتعضيات ، بوسع البيروفات والخلات والكربونات (pyruvate, acetate, carbonate) ، وهي مواد كانت لتكون شائعة عادية على الارض البدائية ، أن تقدم كل الكربون اللازم لكل من السيرين ، والغلايسين، واليسيتين، والآلانين، والفالين، واللوسين ، والايسولوسين والليسين، وحامض الاسبرتيك ، والثريونين، والمثيونين، وحامض الغلوتاميك، والبرولين، والارجنين

(serine, glycine, cysteine, alanine, valine, leucine, isoleucine, lysine, aspartic acid, threonine, methionine, glutamic acid, proline, arginine.)

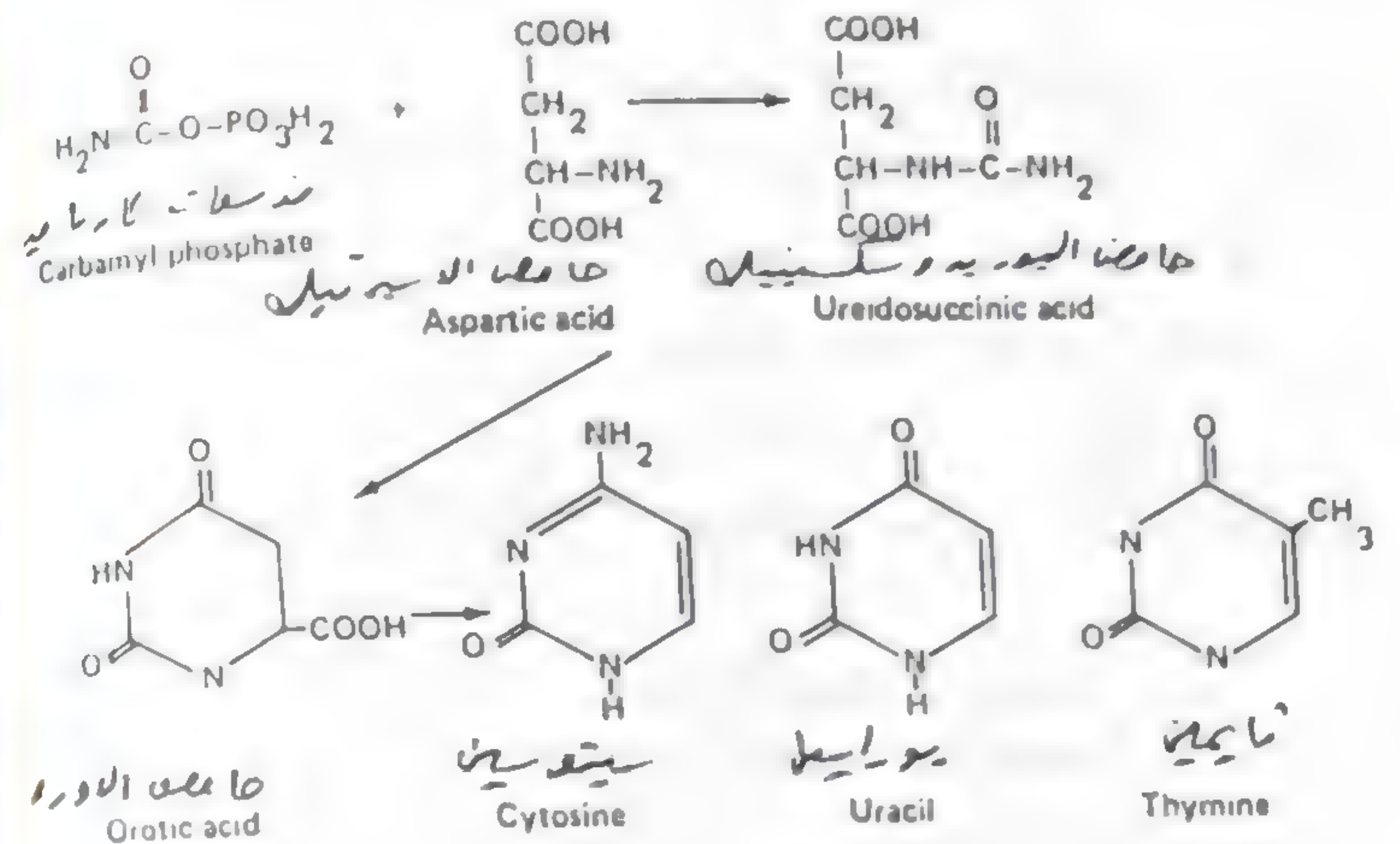
كانت جميع التفاعلات الكيميائية التي تستخدمها المنظومات البيولوجية موجودة قبل ظهور الحياة . وعليه، فان الخلايا الناشئة لم تخلق اية تفاعلات كيميائية جديدة لتثيل مقوماتها انما مجرد انها تبنت الوسائل اللازمة للتحكم بالتوزيعات العديدة الممكنة منها، وحققت ذلك بتسريع تفاعلات اتقائية بواسطة المحفزات . ومن بين أهم المحفزات او عوامل التحفيز التي اندمجت



وهكذا ، فقد كان يوجد في باطن الخلايا البدائية التي بدأت بكونها حية جينيا مجموعة كبيرة من التفاعلات الكيميائية التلقائية تعمل بوتائر مختلفة ادت في النهاية الى خلق متعضية نشيطة ايضا . ومن هذه التفاعلات تلقت الخلايا البدائية تنويعا متوافقة (assortment) من الحوامض الامينية اندمجت في الهضيميدات البيوجينية العتيقة . وبدأت الخلايا التي تضمنت محفزات كمشتقات الازيدازول والانزيمات المساعدة بتوليد بيوكيميائيات أخرى كانت تعمل كمكونات مفيدة . كانت أغلب التفاعلات بوتيرة بطيئة ، والخلايا البدائية التي لم تتوفر لها المواد لتسريع الاستحالات المفيدة لتضع في النهاية بتفكيكها أو امتصاصها من قبل الخلايا الأكثر نجاحا .

كان الطريق التصاعدي الى البقاء مفتوحا للخلايا التي كانت التفاعلات فيها أسرع وأكثر نوعية بزيادة مطرد ، وذلك لأن الكفاءة كانت السبيل الى التخلص من التفاعلات اللامقننة نحو التفاعلات النوعية التي أنجزت تمثيل منتوجات نوعية تخصصية . ان الانزيمات المساعدة هي محفزات عامة لصنف من التفاعل الكيميائي . غير انه ، عندما ارتبطت بسلاسل البولي هضيميدات تقبضت حركتها واختلطت بتفاعل البولي هضيميدة مع الطبقة السفلية .

ان التمثيل الحيوي للبيورينات والبيريميدينات (purines, pyrimidines) وهي قواعد الحوامض النووية ، موجود في جميع المتعضيات ، وربما كان احدى عمليات التمثيل الاعق التي لزم للبقاء . في المتعضيات المعاصرة يتم تمثيل البيريميدينات في خطة (scheme) لا بد انها اصلية نظرا لتسويتها الجامعة وبساطتها . في هذه العملية يتفاعل فوسفات الكرباميل مع حامض الاسبرتيك لينتج حامض اليوريدوسكسينيك (ureidosuccinic acid) ومركب يستدير الى حامض الاوروتيك (orotic acid) وهو طليعة البيريميدين .



كما يتم استخدام حامض الاسبرتيك والغلايسين ، وكذلك الفورمان (formate) وثاني اوكسيد الكربون في عملية التمثيل الحيوي للبيورين ، ينما تأتي اثنان من الذرات النيتروجينية في البيورين من الغلوتامين .

وظهرت انزيمات خام بدائية الى الوجود • وبالتدريج، خطوة بخطوة، فيما بحنت الانزيمات باستبدال وتكبير الحوامض الامينية، أخذت تحصر دور الانزيمات المساعدة في التفاعلات النوعية الخاصة فقط بالجزيئات التي يوسعها أن تعمل بمثابة الطبقة السفلية بالتراكيب في شكل البروتين. بإنتاج محفزات لتفاعلات نوعية مخصصة انتظمت فوضى تواجد العديد من الانواع التفاعلية معا في الوسط الخلوي في مسلسل من التفاعلات النظامية • وبالتتقال سيطرة التفاعلات الخلوية الى تمثيل الانزيمات، أصبحت عملية التمثيل الحيوي جينيا مبرمجة.

ان تمثيل محفزاتها الذاتية خلق للحياة إحدى خواصها الأكثر دينامية. أصبحت ذاتية أو كيفية التحفيز (autocatalytic) • ان الخلايا التي طورت الانزيمات التي قامت بتسريع تمثيل الانزيمات لتسريع التفاعلات الى سرعة أكثر وأكثر بالتزايد لم تلبث ان سبقت الخلايا البدائية الاخرى • كانت هذه عملية دائرية (cylical) عزلت في الجوهر الآليات الخلوية من البيئة ورسخت الطبيعة الاستقلالية للخلية. ومع تلقيم وارد من الطاقة لدفع عملياتها وآليات التغذية الارتجاعية فيها للتحكم الذاتي الانتظام، انطلقت الخلية في مسيرتها في التطور البيولوجي • وأصبح استخدام الدوائر أو الدورات (cycles) في النهاية الطريقة السائدة في تكوين اشكال الحياة الذاتية الادمية (٢).

كجميع التفاعلات الجوهرية لدى المنظومات البيولوجية • كانت عملية تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك متواجدة قبل مجيء الانزيمات. قام تشارلز ديفاني (Ch. Degani) وأم هلمان (٣) (M. Halmann) بطرح الايضاحات على التجرد القلوي لسداسي فوسفات الغلوكوز (glucose 6-phosphate) يتم بدون فعل الانزيم بالتفاعلات المتوازية والمتتالية (أنظر المعادلة التالية):

انديولات

فوسفات

غلوكوز

٦ - فوسفات الغلوكوز

٦ - فوسفات الفروكتوز

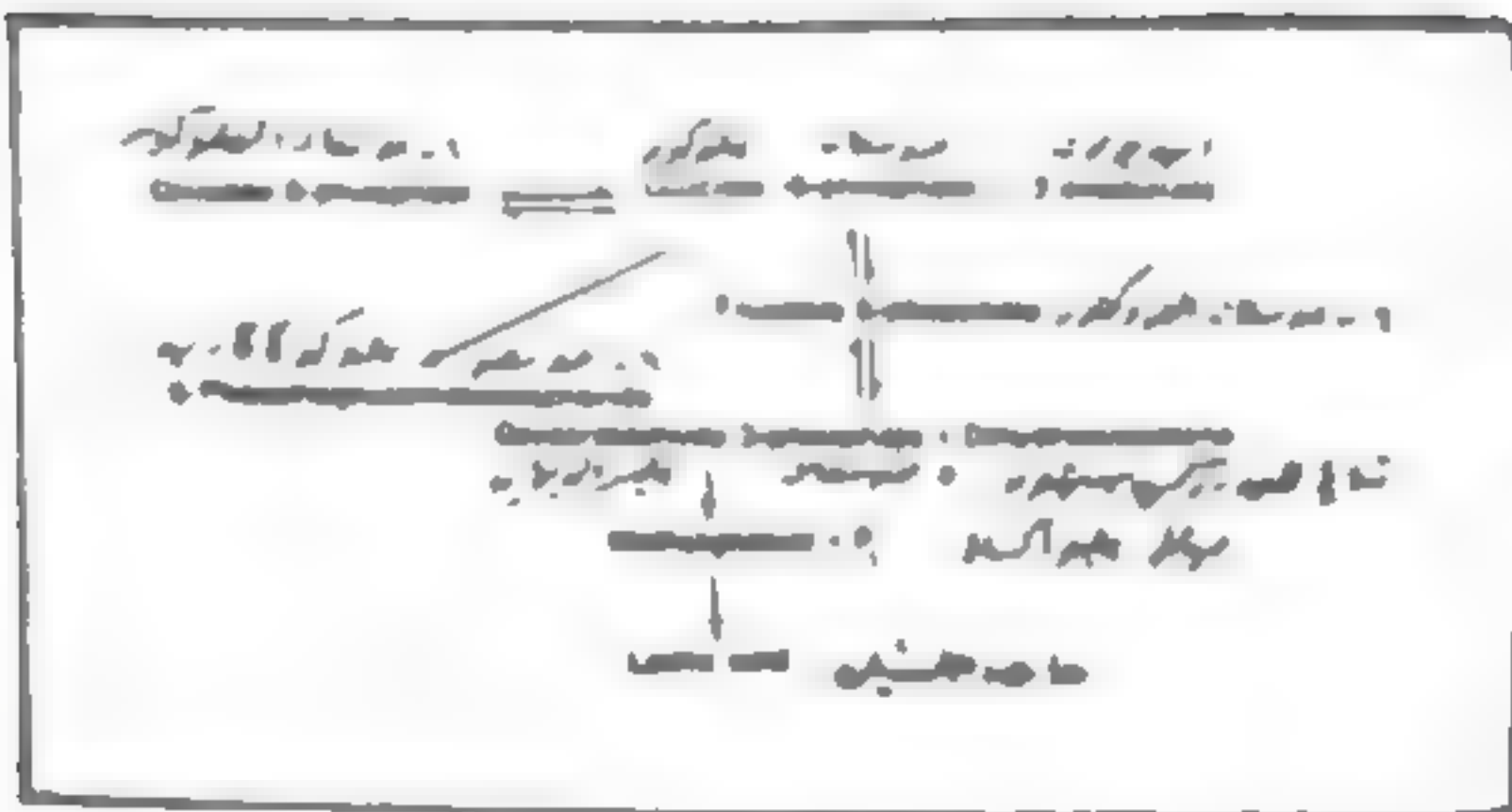
٦ - فوسفو غلوكوكاكاريد

ثنائي هيدروكسي اسيتون فوسفات

جليسرالديهيد

ميثل غليوكسال

حامض اللبنيك



استغلت الخلية عملية الفلكلة (glycolysis) المتواجدة بتوجيه مسلسل التفاعلات التلقائية من خلال حامض البيروفيك، وبمعمونة الانزيم المساعدة NAD استدرت بعض الطاقة الكيميائية المسببة في عملية التجريد لاتاج جزيئين من الأت ب ATP •

وآنذاك أصبحت هذه الوسيلة لاستخراج الطاقة من البنية الكيميائية للمواد الموجودة في البيئة، وتم رفع الغلوكوز الى دور مركزي كمصدر للطاقة الكيميائية عندما تمت المتعضيات الدورة بتوليد الغلوكوز من حامض البيروفيك، اضافة الى الغلوكوز، تمكنت الكلوستريديا وهي من اعتق اللاهوائيات، من استخدام الكحول وحوامض الكربوكسيلك والحوامض الامينية كطبقات سفلية في التخمر، وهي مواد كانت لتواجد في الاحتياطي ما قبل الحيوي (٤).

وقد اكتشف ان الكلوستريديا ، وايضا البكتيريا الضوء تمثيلية ، تملك القدرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون بتفاعل يتم تحريكه بالفريدوكسين المختزل^(٥). يؤدي تماثل او استيعاب (assimilation) ثاني اوكسيد الكربون الى كربسلة (carboxylation) انزيم الاسيتيل المساعد (acetylcoenzyme A) الى البيروفات وهذه تفضي الى تكوين هذه الحوامض الامينية : حامض الاسبرتيك ، وحوامض الغلوتاميك والالانين.

حتى مؤخرا كان يعتقد في العموم ان المتعضيات الارومية القديمة للارض كانت هيتروتروفات (heterotrophs) وهي لا ذاتية التغذية او الاعالة ، التي كانت تستخرج الطاقة الكيميائية من خلال تخمير الاحتياطي لدى المواد العضوية ما قبل البيولوجية . لكن الاركي بكتيريا او البكتيريا الاركية ، وعلى الاخص الميثانوجين ، ربما تكون اكثر قدما^(٦). واذا كان الجو البدائي قد تكون من ابتاثات البراكين ، كما هو المعتقد الآن ، فانه كان ليتألف على وجه رئيس من ثاني اوكسيد الكربون ، والماء ، والنيتروجين ، والهيدروجين . ان اختزال ثاني اوكسيد الكربون بالهيدروجين الى الميثان والماء تفاعل تلقائي ، لكن الوتيرة بطيئة لدرجة تجعل من الممكن ان يكون قد تسخر بفعل منظومة بيولوجية . وعلى ما يظهر استمدت الميثانوجين طاقتها الكيميائية من هذا التفاعل بالذات . تستطيع بعض الميثانوجين المعاصرة من استخدام مصادر أخرى قابلة التحويل الى ثاني اوكسيد الكربون ، مثل حامض النمليك ، لكنها جميعها لا تستطيع مؤايضة مصادر عضوية نموذجية مثلما تستطيع البكتيريا الاكثر قدما^(٧).

بدأت الخلايا الاولى كمنظومات استنساخ جينية تستمد مكوناتها من الاحتياطي ما قبل الحيوي (prebiotic reserve) ، وتم توسيع عدد الحوامض الامينية بالاستحالات ، وفي الاخير جاء تمثيل الانزيمات بعمليات

التأين لدى المتعضيات التامة الوظيفية ، وهذه جميعها كانت تكييفات قديمة للغاية رسخت انماط الحياة لجميع اشكال الاحياء على الارض . لقد ازدادت البروتينات في العدد والتركيب منذئذ ، لكن الحوامض الامينية ثبتت واصبحت غير قابلة للتغير ، فان أي تغير آخر في احدى لبنات البناء الاساسية ستكون له آثار تدميرية على فاعلية الآلاف من البروتينات في المتعضية الواحدة.

وفيما كان يجري ترسيخ الطبيعة الجوهرية للحياة ، كان شيء آخر غريب يحصل . فقد بدأت بعض الخلايا اتقائيا باستعمال قدر اكثر من ايسومر بصري من الحوامض الامينية والريبوز مما هو في آخره . ربما ان التفاضل بدأ ببطء ولكنه تسارع أسيا فيما استهلكت الخلايا حطام خلايا أخرى الى ان خلال فترة وجيزة كانت جميع الخلايا تستخدم بلا استثناء الحوامض الامينية من فئة الفا ايل (L-a-amino acids) وسكاكر من فئة (D-Sugars)S

تتضمن المركبات ذات الكربون اللامتناظر (الكربون ذو اربعة بدائل مختلفة) ايسومرين اثنين مجسمين (stereoisomers) لكل واحد من هذه الكربونات (carbons) والايسومرات هي صور مرآية واحدها للآخر لا تقبل الاعتلاء عليها (nonsuperimposable) ، وكتيجة يقوم شكل واحد بتدوير (rotate) الضوء المستقطب الى اليسار (-) والآخر الى اليمين (+). وقد تم تأشير تضاريس الايسومرات البصرية (D) و (L) ليس لبيان اتجاه الدوران وانما كان تخصيصا اعتباطيا او مطلقا من الحوامض الامينية من كربون الفا (a-carbon amino acids) ورباعي كربون الخماسوزات او البنتوزات (4-carbon of pentose) مثل الريبوز ، وخماسي كربون السداسوزات او الهيكسوزات (5-carbon of hexoses) من مثل الفلوكوز.

في آلية التأيض الخلوية وبقيت فيها بوجه ثابت هي الانزيمات المساعدة (coenzymes) •

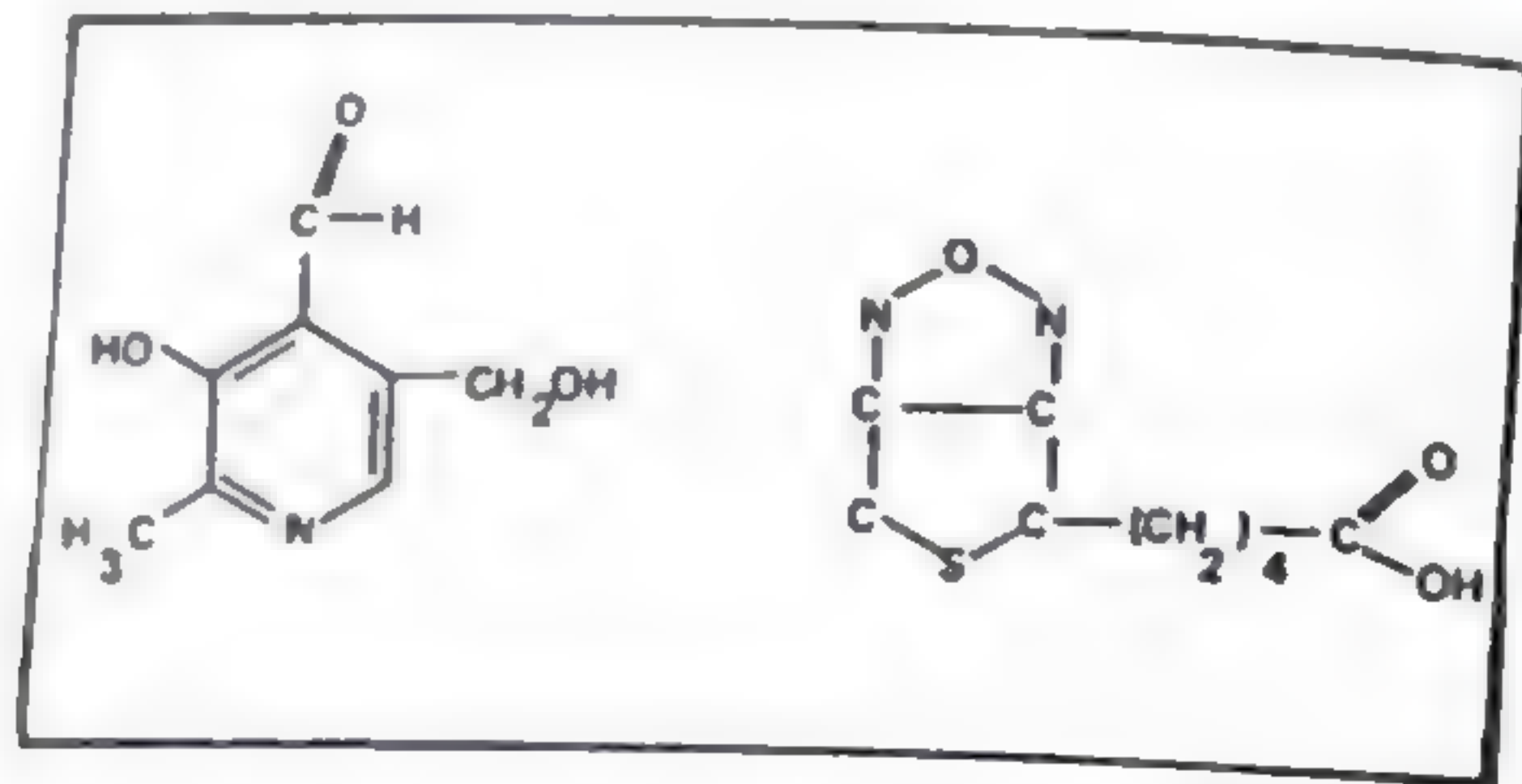
ان الانزيمات هي بروتينات ذات خواص تحفيزية. ويمكن ان تكون سلاسل بولي هضيتيد بسيطة او بروتينات مقترنة مع حصة لا بروتينية ملحقة بها لاداء وظيفة نوعية. وعليه، فان الانزيم المساعد (coenzyme) هي القطعة او الحصة من الانزيم مطلوبة للقيام بهذا النشاط، ويمكن اعتبارها بالقطعة القابلة للفصل من البروتينات المقترنة. والعديد من الانزيمات المساعدة تحتوي على فيتامينات كجزء من بنيتها، وفي العموم تقوم بوظيفة متقبلات للالكترونات او المجموعات الوظيفية.

مثل المكونات الجوهرية الاخرى، يبدو ان اغلب الانزيمات المساعدة تنسب الى اصل قديم عتيق، وربما انها هي وسابقتها المباشرة اصبحت جزءا تام التكوين من المنظومات البيولوجية. اصبحت نووتيدات البيريدين (pyridine) (ناد NAD ونادب NADP) متقبلات هيدروجين لتفاعلات الاكسدة - الاختزال، واصبحت الانزيم المساعد أ (coenzyme A) الوسيلة لنقل الاسيل (Acyl transfer). وهذه النووتيدات هي مشتقات ذات تركيبة بسيطة نسبيا وكان يمكن ان تنشأ لا حيويا. وكانت الثيامين والبيريدوكسال والبيوتين (thiamine, pyridoxal, biotin) انزيمات مساعدة مستخدمة في نقل المجموعات.

يقوم الثيامين، بصفة يروفوسفات الثيامين، في وسط قلوي بتحفيز شطر $\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}\text{—}$ مع تكوين الديهايد نشيط (active aldehyde) وبهذه الطريقة تمكن الثيامين او نظيره البدائي من تسريع تجزئة البيروفات الى

خلات لتوفر لتكوين (acetyl-S-Co A)، وهكذا تم تحويل الاسيتيل ومجموعات الاسيل الاخرى (acetyl, acyl groups) الى الحالة النشطة لتمثيل الغليسيريد (glyceride) ليتسنى للخلايا البدائية المباشرة باعداد الغشاء الدهني الخاص بها.

يشارك فوسفات البيريدوكسال في اصناف عديدة من التفاعلات. فهو بوسعه تحفيز عمليات نزع الكربوكسيل ونزع الامينات (deamination) وترحيل الحوامض الامينية. كما بوسعه ايضا نقل الكبريت من الميثونين الى السيرين لتكوين السيستين.



الشكل ٢/٢٥ - البيريدوكسال والبيوتين

يعمل البيوتين كإنزيم مساعدة في تثبيت ثاني اوكسيد الكربون ونزع كربوكسيل الانزيمات. كما يوجد وفق ما أعلن عنه تفاعلات انزيمية أخرى للبيوتين مساس بها، الديهيدروجناز والديكربوكسيلاز السكينية (succinic dehydrogenase and decarboxy lase) وايضا ديامينازات حامض الاسبرتيك، والسيرين، والثريونين (deaminases of aspartic acid, serine, threonine).

كما يدخل البيوتين ايضا في تمثيل فوسفات الكرباميل (carbamyl phosphate) وصيغته:

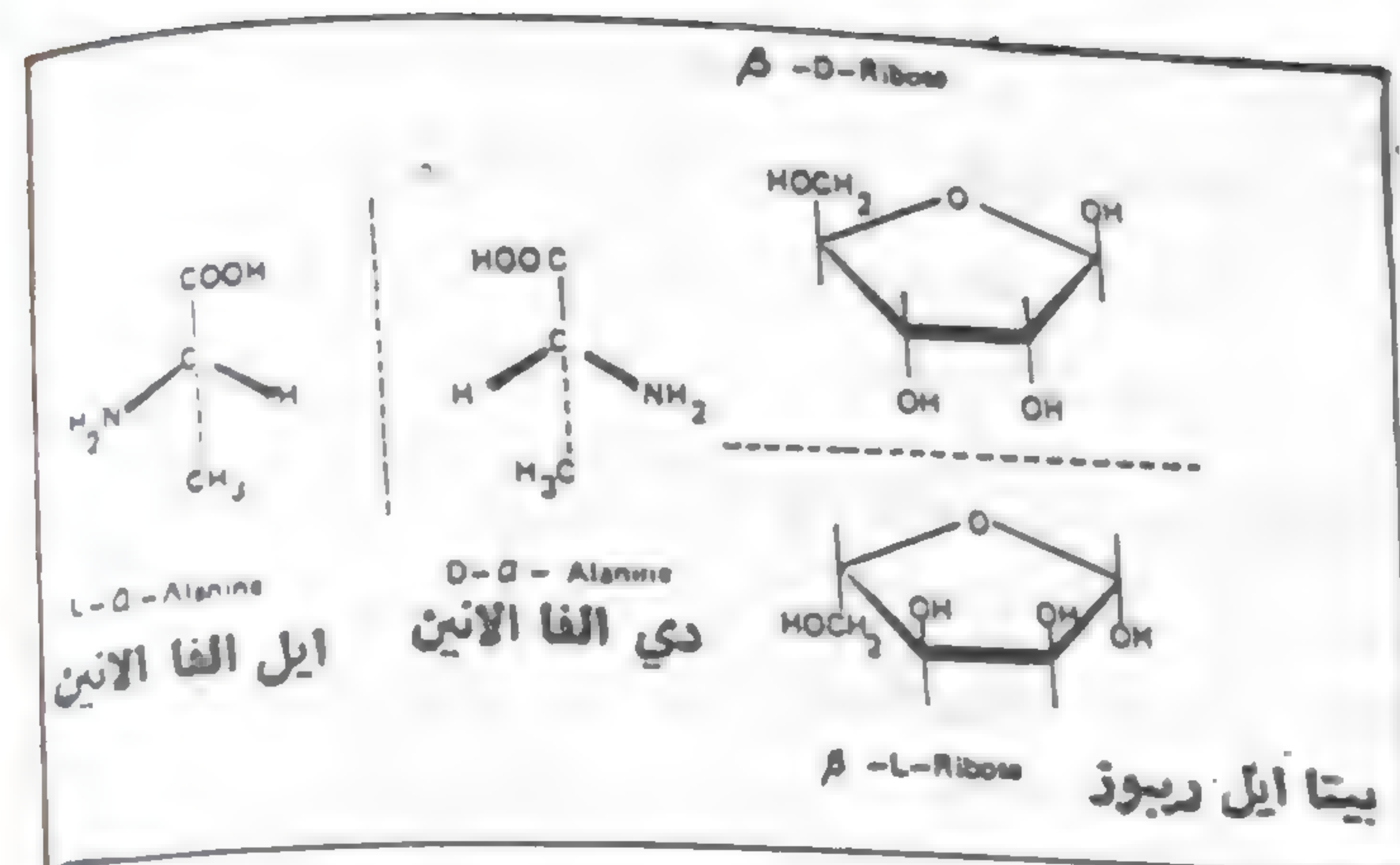


بابتيست بيو (Jean Baptiste Biot) ان السكر ، وحامض الصاموريك ، والكافور ، وزيت التربنتين ، تستدر الضوء المستقطب المنبسط في الحالة السائلة او المحلول ، ثم اكتشف باستور ان هذه هي سمة ذاتية نابعة من لا تناظرية الجزيئات الفردية ، وعلنا منه ربما ان المجال المغنطى للارض هو العامل اللاتماثل الذي يستحث التمثيل اللاتناظري . قام بمحاولة فاشلة لاعداد ايسومرات بصرية باستخدام مجالات مغنطية شديدة القوة . لكن خطأ افتراضه كان احد اسباب اخفاقه ، وذلك لان المجال المغنطى ودوران الارض كلاهما قوتان متناظرتان في واقع الحال .

يمكن فصل الايسومرات البصرية في المختبر بصعوبة بالغة فقط ، وحتى آنذاك بالاستعانة عادة بايسومر نقي آخر ، وظل التمثيل النوعي للجسم هدفا يقض المضاجع سنوات طويلة حتى بلغ اليأس بالعلماء في محاولاتهم تمثيل الايسومرات المجسمة حدا دفع أف آر جاب (F.R. Japp) في عام ١٨٩٨ الى احياء النظرية الحيوية بالاعلان ان التمثيل الاول للجزيئات اللامتناظرة كان مستحيلا ، وان الجزيئات اللامتناظرة هي كالمعضية الحية ، لا يمكن اشتقاقها الا من جزيئات لا متناظرة فقط .

لم يكن جاب مصيبا تماما في استنتاجه ، ولكنه شدد على السؤال : كيف نشأ النشاط البصري لدى المنظومات البيولوجية اذا كانت الخلايا الحية فقط تملك القدرة على انتاجه .

تنقسم النظريات التفسيرية حول كيفية سيرورة المنظومات البيولوجية تجانسية الجسم الى فئتين اثنتين : نظرية ما قبل الحياة ، ونظرية ما بعد نشأة الحياة . يحاول ادعاء النظرية ما قبل الحياة ايجاد الوسائل الطبيعية التي تمكنت من انجاز التمثيل النوعي التجسيمي في المركبات ما قبل الحياتية . أما الآخرون فيحاججون بأن التجانسية التجسيمي نشأت من اصول بيولوجية



كانت الانتقائية التجسيمي (stereoselectivity) من قبل الخلايا البدائية خطوة علاقة في اتجاه تنظم المادة في المنظومة الوظيفية التي نسميها بالحياة . ولما كانت الطاقات المطلقة او السالبة للايسومرات البصرية متطابقة الشب (identical) في بيئة خاملة او غير نشطة بصريا ، فان تمثيل الحوامض الامينية ، والساكر ، والمواد اللامتناظرة الاخرى ، ما عدا من قبل المتعضيات ، يعطي عددا متساويا من الايسومرات المجسمة الممكنة . ومثل هذه الخلائط الاليسيمية (racemic mixtures) تعجز عن ابداء أي نشاط بصري . وعليه فان هذه الخاصية الفريدة للجزيئات البيولوجية عديمة النظير بحيث انها اختبرت احدى صفات المنظومات الحية ، وكخاصية رئيسة يجري الاختبار لها في المواد العضوية من النيازك ، والقرارات الجيولوجية ، والتحريات الكوكبية للثبت مما اذا كانت من اصل حيوي أم خلافه .

لقد حير لغز أصل النشاط البصري منذ عام ١٨١٥ حين اكتشف جان

قام ذات هوف^(١٩) (Vane Hoff) بفحص الضوء المستقطب كعوامل محتمل كان بتقديره السبب في نشأة التمثيل اللامتناه في الاحوال الطبيعية . وقد ورد الاقتراح منذ ذلك الحين بأنه كان بإمكان الضوء المستقطب المبسط جزئيا من السماء بتحويله الى ضوء يميني (circularly polarized) مستقطب دائريا وجزئيا عند انعكاسه على سطح الارض تحت تأثير المجال المغنطى ان يؤدي الى تحليل الايسومرات البصرية . فتم وضع هذه الفرضية قيد الاختبار التجريبي بالتعظيم الضوئي المتجسم الانتقاء للايسومرات مع الضوء المستقطب المستدار^(٢٠) (circularised) ، لكن نسبة التحليل او التفرز (resolution) المحققة كانت ضئيلة للغاية حتى بعد تضخ نصف مولا المباشرة . ثم تضاعفت أهمية النتائج أكثر ازاء الحقيقة ان الضوء الطبيعي أقل استقطابا من الضوء المستخدم في التجارب . ولم تكن الاختبارات مفعنة كغير لاصل الايسومرية التجسيمية .

توجد في الطبيعة بلورات عديدة نشيطة بصريا ، منها على سبيل المثال بلورات الكوارتز الينية واليسارية ، وهذه البلورات تفقد نشاطها البصري عند التسخين او الاذابة ، لكن الفقدان هذا لا ينشأ عن الجزئيات اللامتناهية وانما عن الترتيب اللولبي لسلاسل السيلكون الاوكسجين في البلورة (—Si—O—Si—O—) . فقام هارادا^(٢١) (Harada) باستخدام مسحوق الكوارتز النشط بصريا لتصويب توجه تكوين بلورات الحوامض الامينية ، الا ان الانشطة كانت ضئيلة بحيث انها قاربت حدود الخطأ التجريبي .

من الممكن في الاحوال المقتنة (controlled) بعناية استحضاث تبلور تفاضلي للايسومرات البصرية من محاليل فائقة التشبع للخلائط الراسية اما بواسطة الترس او تلقائيا ، وقد امكن تحليل او فرز حامض الصاموريك ، وحامض التافريك ، وحامض اللينيك ، والثريونين ، والهستيدين ، وحامض

الغلوتاميك ، وعديد غيرها بهذه الطريقة . يستخدم أسلوب الترس او البذر (seeding technique) على هذا النحو في اليابان لاعداد المخلوقات ذات المونوسوديوم صناعيا (monosodium L-glutamate) . الا انه رغم ان هذا الأسلوب يبدو رائعا للغاية ، فانه من الصعب تصويره كاصل لنشأة النشاط البصري البيولوجي . فهو لا يبدي أي انتقاء تفضيلي لايسومر على ايسومر آخر ، ثم ان الاحوال المختبرية مثالية أكثر مما يمكن اعتباره وسطا طبيعيا .

لقد طرح ان النشاط الاشعاعي الطبيعي ربما كان عاملا مساهما في الانتقائية المجسمة (stereo-selectivity) لدى التعضيات البدائية^(٢٢) ، وقام ام كولدهايمر^(٢٣) (M. Goldhaber) وآخرون بالتدليل على تقطع الكروقات تفسخ بيتا (beta-decay electrons) المنبثة من (Co⁶⁰) بالاتلاف في اتجاه واحد . ولا يستبعد عقلايا ان تكون لا تماثلية (asymmetry) هذه الجسيمات البدائية قد أثرت في الجزئيات بقوة فيزيائية لا تناظرية (asymmetrical) . وفي مقالة حديثة في (أصل الحياة Origin of Life) اقترح ايج بي نورث (H.P. Noyes) ودبليو أي بونر (W.A. Bonner) وجيه أي توملين (J.A. Tomlin) من جامعة ستانفورد ، انه من الممكن ان تكون الكروقات تفسخ بيتا من الكربون اربعة عشر في الحوامض الامينية (¹⁴C in amino acids) قد اظهرت بعض التعظيم الانتقائي للدي ايسومر (D-isomer) ، غير انه يبدو ان هذا التفاعل يعمل على اللوسين فقط ، كما انه من المشكوك في ما اذا كانت وتيرة التحويل سريعة بما يكفي لتجاوز قدر الرتبة او الترس (racemisation) .

ليست الايسومرية البصرية في الحوامض الامينية والساكار تفرسة

مستقرة مطلقاً. وعندما ترسم (isomerise) الايسومرات البصرية تفقد نشاطها بالتوازن نحو عدد مساو من كلا الايسومرين . كما ان الحوامض الامينية النشطة بصرياً ترسم من خلال تآين الفاس-هيدروجين (hydrogen) بوترية مستقلة عن مستويات (pH) ما بين (3) و(8)، ولكنها تتأثر بدرجة الحرارة . وانصاف اعمار الايسولوسين، والالانين، والفيلالانين، تبلغ على التوالي (35000) سنة و(11000) سنة، و(2000) سنة في درجة حرارة (25°) مئوية (15°).

ان الصعوبة في المحاولات لايجاد تفسير ما قبل الحياتي للنشاط البصري تكمن في أن جميع الاحوال المعتقد انها كانت متواجدة في البيئة البدائية تجذب ريسة الايسومرات البصرية وليس مراكمتها. وعليه لابد ان المتعضيات البدائية تبنت اسلوب الانتقائية المجسمة بكيفية ما، وبسبب فائدة ملازمة لانتشر في جميع اشكال الحياة على الارض.

ولا يحتاج المرء الى التوغل في اعماق البيولوجيا الجزيئية لبحث عن الجواب، فانه يمكن تشييد حامض نوويك مزدوج الوهن تاسخي أما من جميع الدي-ريبوتيدات (D-ribotides) أو من جميع الايل-ريبوتيدات (L-ribotides)، الا انه لا يمكن تشييد بنية انتظامية من خليط من الاثنين (16). يتطلب التغير من دي-الى ايل-يتا-يوريدين (from D- to L-Beta-uridine) قلب كل بديل في مستوى حلقة الريبوز. فاذا أجريت محاولة لدس ايل-يتا-يوريدين في لولب حامض النوويك مزدوج الوهن، فانه سيظهر ان ثلاثي وخماسي تكافؤ الهيدروكسيلات (3'-and 5'-hydroxyls) لا ترتبط على الوجه الصحيح مع النوتيدات المجاورة.



يتكشف حامض دي-ادنيليك (D-adenylic) المنشط مع دي-ادنوسين (D-adenosine) ولكن ليس مع ايل-ادنوسين في مرسومة حامض بولي-دي-يوريديليك . وقد كانت بولي نووتيدات المتعضيات البدائية نشطة بصرياً ليس بفعل تكون طبيعي غامض محير للايسومرات معينة، وانما فقط لان البولي نووتيدات نوعية التجسم كانت لتعمل في الآلية الجينية.

وعلى نفس الغرار، ان التضرسة اللولية هي التي تمنح البروتين شكله النوعي. وعلى شكله النوعي هذا (specific shape) تعتمد قابليته للانحلال وقدرته على التبلور وعلى الدخول في تفاعلات كيميائية نوعية مع جزيئات اخرى. يمكن تحقيق تشكّل تطابقي محدود مع الحوامض الامينية التي ليست بصرياً نقية، الا ان التأثيرات الحيزية تعوق البنية بشدة . انما يبدو ان ترويسة متسقة (assortment) عشوائية من فضلات الحوامض الامينية ايل-سودي-تجعل لولب الفا مستحيلاً . ربما ان الخلايا الناشئة استدمجت الحوامض الامينية الايل-فقط عندما حصل تمثيل الهضيتيد بترجمة البولي نووتيدات المتجانسة التجسم، وكانت فقط الحوامض الامينية من نفس التوجه الحيزي لترافق على الوجه الصحيح لغرض التكثيف . (ملاحظة: توجد استثناءات للتجانسية التجسمية في المنتجات الطبيعية . فمضادات الحيوية من

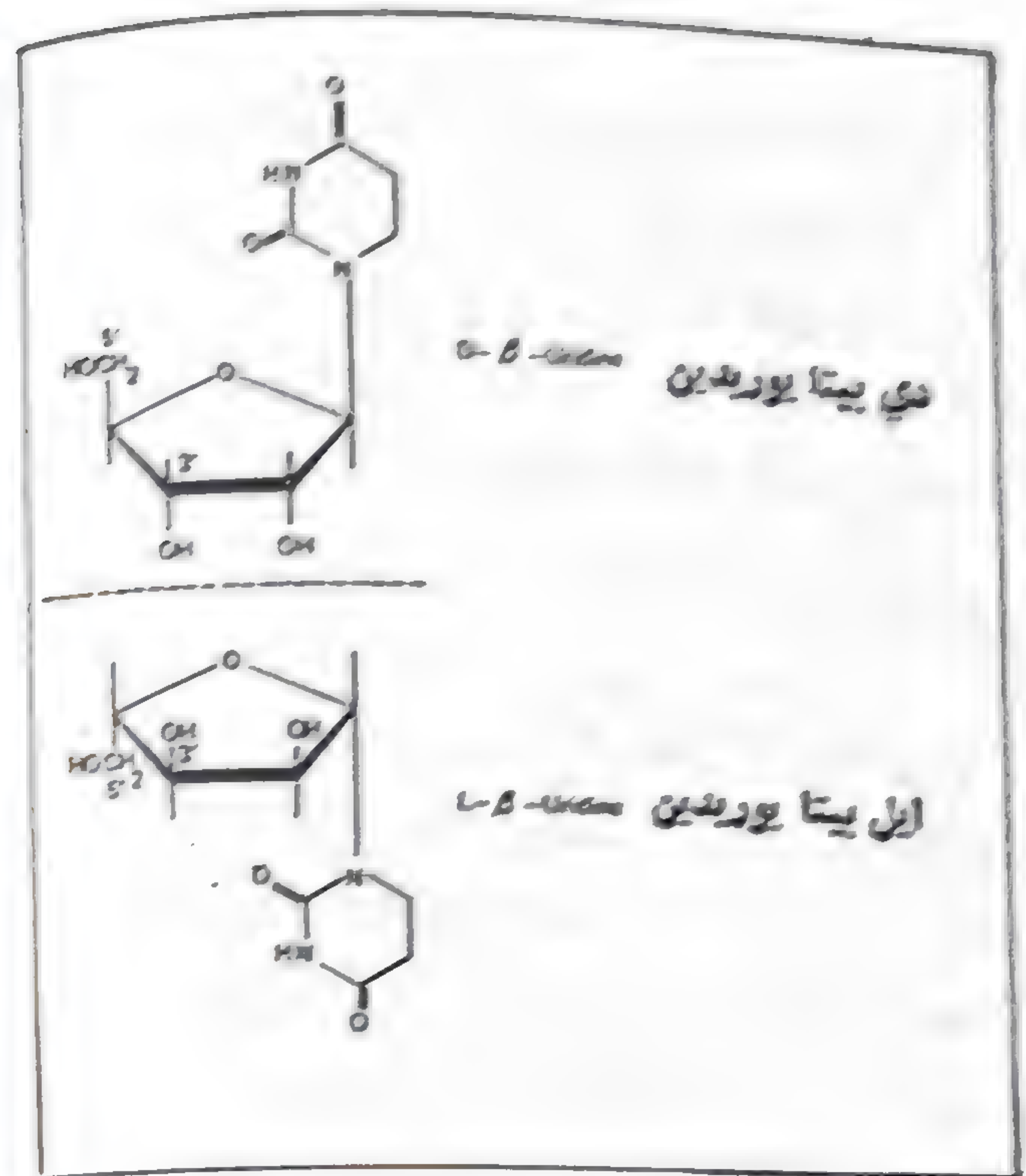
غراميسيدين وتايروسيدين gramicidin, tyrocidine وغيرها هي هضيتيدات مع الحوامض الامينية دي-مدمجة في سلاسلها).

جميع المنظومات البيولوجية على وجه الارض تستعمل نفس الايسومرات البصرية. الا انه يفترض ان متعضية تستخدم حوامض امينية من ايل-ريبوز ودي-ريبوز كانت ستعمل بنفس الفعالية كمنظائرها التي تطورت . فاذا كانت المواد ما قبل الحياتية راسمية لماذا اذن لم ينشأ كلا نوعي



وعليه ، اذا كانت جوهريا جميع المادة العضوية على الارض من اصل حيوي ، فان مقدار المادة العضوية ما قبل الحيوية التي تواجدت على الارض البدائية ، ربما مبالغ فيه الى حد كبير . وقد أشار هارولد بلوم (Harold Blum) أنه اذا كان كل الاوكسجين على الارض يعادل مقدار ثاني اوكسيد الكربون الذي تم تماثله في الكربوهيدرات ، فان هذا يساوي ١١٠ مولة (أي جزئي غرامي) . وبوتيرة التأيض الحالية ، بدون مزيد من الجديد بالتشيل الضوئي ، ستدوم المواد العضوية كامدادات غذائية لما يناهز ثلاثة آلاف سنة فقط ، ولما كانت وتيرة الاستعمال الحالية أسرع بكثير منها في الأزمنة البدائية ، فان تقديرا تقريبا لمدة فترة تواجد الحياة البدائية قبل تشيل الضوئي لا يمكن ان يقع في أكثر من بضعة عقود من آلاف السنين .

يوحى هذا التقدير الى أن التشيل الضوئي ظهر قريبا جدا من بداية الحياة . كما انه ايضا يدل على انه لم يكن يوجد أي تراكم هائل من المادة العضوية ما قبل الحياتية على الارض البدائية لادامة الحياة لأي فترة من الزمن . لم يكن يوجد أي «حساء بدائي» اسطوري ماعدا على نطاق محلي ضيق . بدأت الحياة بتراكم ضئيل من الطلائع واستمرت في البقاء فقط بصيرورتها ذاتية الادامة .



التعضيل في الحقيقة لا يسعنا الا أن نحدد ان الخلايا البدائية التي استخدمت دي-ريبوز نشأت قبل وكانت تملك ما يكفي من القدرة للقيام بتشيل العديد من مكواتها قبل ظهور أي من اضدادها .

حصلت محاولات لتشيل ظهور الخلية الاولى بشابة «حرب» بين المتقابلين (antipodes) البصريين على تخزين المواد ما قبل الحيوية . ألا ان هذا يبدو غريبا لأنه لم يكن أي من الصنفين يستخدم ايسومرات الآخر . انما بالاحرى يبدو أكثر معقولة انه تتأصف واحد من الخلية البدائية وأن الحوامض الامينية والساكر التي قامت بتشيلها انزيماتها النشيطة بصريا لم تلبث أن انتشرت بسرعة وطفقت على جميع المواد البيولوجية بصنف نشاطها البصري .

الفصل السادس والعشرون

طرائق أخرى ، أماكن أخرى

إن العقبة الكبرى في رسم كيف بدأت الحياة كانت نجاح تطورها بذاته. من كفاءة تعقيدية أي كائن حي، حتى أبسط متعضية مجهرية، رهبة مهولة لدرجة أنها قد خلقت الفكرة أن الحياة لم يكن يمكن أن تتواجد إلا بشكلها الحالي. إن صورة آلاف الجزيئات المتوافقة متوافقة منسجمة بتناغم تام دقيق في عبوة أصغر بكثير مما يمكن رؤيتها نشأ بلا عون من مواد بسيطة وتصبح حياة كاملة تبهر العقول. مع ذلك، نظرا لضخامة طول الزمن الذي تواجدهت خلاله الحياة على الأرض، فقد استلزمت النشأة حصول تغيرات متوالية في بروتينات فردية على فترات تبلغ بضعة ملايين من السنين بين تغير وآخر. إن الصعوبة في الأمر هي أن أفكارنا مقتفلة في حجم وزمن عالمنا الحالي. إنما فترة عمر الفرد، وعمر الحضارة، والفترة منذ أن أصبح الإنسان نوعا، ليست سوى لحظات عند مقارنتها بالثلاثة آلاف مليون سنة التي استغرقتها الخلية البدائية للتطور إلى مستوى السك الهلامي. بقيت الحياة بمستوى متعضيات مجهرية أحادية الخلية طوال ثمانين بالمائة (٨٠٪) من مجسوع زمن تواجدها على الأرض.

بارتباطها ارتباطا وثيقا مقتلا بنشأة الأرض ذاتها، تحصل الحياة مرة واحدة فقط. ذلك لأن المواد ما قبل الحياتية التي افضت إلى بداية الحياة يمكن تكونها فقط في الأحوال الاختزالية السائدة في الجو البدائي، وظهرت اليوكاريوت فقط بعد تطور مديد للبروكاريوت وبالأستجابة مع اكسجة البيئة، وتسمى ظهور المتعضيات المتعددة الخلايا فقط بعد تجاوز تركيز الأوكسجين الطليق في الجو لنقطة باستور، وجاء استيطان القارات بعد أن نشأت طبقة الأوزون في أعالي الجو كدرئة واقية لحجب الأشعاع



أقدم الاحوال المجهرية

الناسخ الأتريبي

نشوء الأتريبات

التشكيل الحيوي للهضومات

نشوء مسلسل آر إن أي ناقلة

آر إن أي ناقلة تظهر

نمو ضوء تمثيل بدائي

اللامنوسومات تطلق البولي نووتيدات

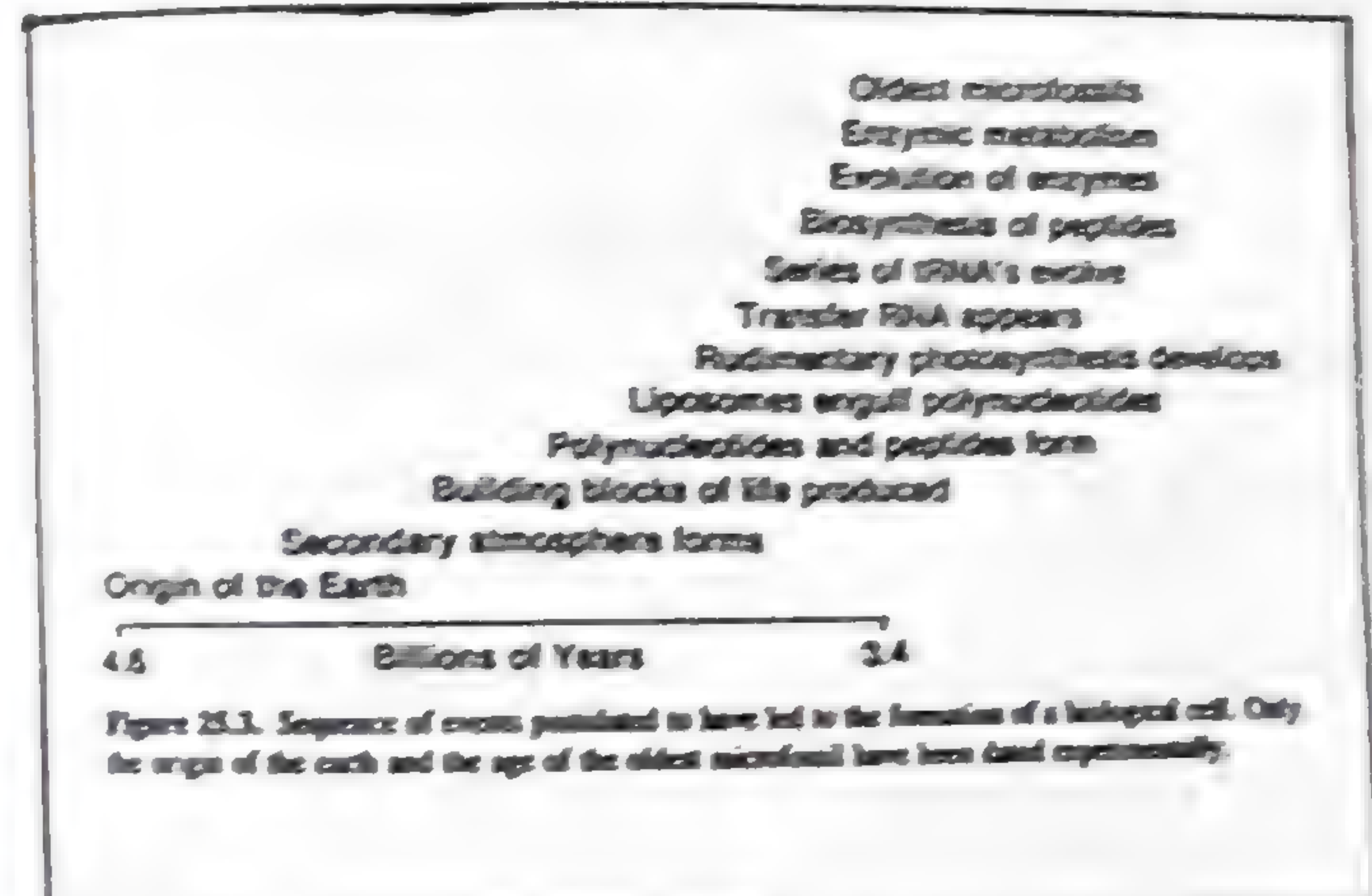
البولي نووتيدات والعضويات تتكون

انتاج لبنات بناء الحياة

جو ثانوي يتكون

أصل الأرض

الشكل ٢/١٥ - توالي الأحداث المفترض أنها افضت إلى تكون خلية مجهرية بيولوجية. فقط أصل الأرض وعمر أقدم أحفورة مجهرية مؤرخان مختبريا.



وما ان جاءت الحياة الى الوجود، فانها لم تملك من نفسها الا ان تواصل السير في اتجاه واحد، قدما من البسيط الى المعقد . وقوى الالتقاء الجانحة الى التنوعات الافضل تمكنا من ضمان استبقائها وتناسخها حملت الحياة الى امام . وكانت نتيجة ذلك الالتقاء التوجه قدما الى كفاءة وقدرة أعظم باطراده . فيما عبرت المتعضيات مرحلة الخلية البدائية من التعقيد كفايانها عن كونه فطريا ذاتيا في بنيتها الكيميائية وارتبط ارتباطا وثيقا ومقفلا بالمكونات النوعية التي ترمج تمثيلها جينيا في تركيب الخلية . وعندما بلغت المتعضيات هذه المرحلة انقطع عنها خط الرجعة ، ولم يكن بوسعها الا المضي قدما . كانت الحياة الآن قد آلت الى وتيرة الرقابة حيث لا يمكن لخلية النشوء الا من خلية حية سابقة . (ملاحظة: يبدو ان الفيروسات والريكتيسيا تطورت بعكس هذا المبدأ، لكنها على ما يظهر اشكال مسوخة ، بدلا من اصناف اكثر تطورا) .

وعندما بلغت المتعضيات مستوى التعقيد حيث لم يعد معه الالتئام الذاتي ممكنا، ابتنى شبح الموت واصبح جزءا من الحياة . استلزم نمو التعقيد اتحادا تاما . ومع كل خطوة في التطور ، حيثما تفكك التئام مقومات الخلية ، أصبحت فرص التئامه ثانية في وحدة وظيفية اقل احتمالا ، وأصبحت الحياة المفقودة حياة لا تستعاد ، وارتهن استمرارها بنقلها الى أجيال جديدة .

ان لبنات البناء للمنظومات البيولوجية هي النوتيدات ، والحوامض الامينية ، والكربوهيدرات ، والدهنيات ، وتتألف الريازة من بوليمرات شبه سلسلة من هذه الوحدات ملتزمة معا في كيان خلوي متكامل التوافق . بقيت اللبانات هي نفسها ، لكن البوليمرات نمت وتنوعت ، منتحة بفعل تغير التبدل الطفري وضغوط الالتقاء الطبيعي . أما الانزيمات ، التي تعمل طبيعتها على تحديد وثبيت الخواص الفيزيائية والكيميائية للمتعضية ، فقد واصلت التعرض لفعل التغير التطوري ، مواكبة مبدأ الاستمرارية باتباع كل خطوة في التطور بسابقتها في زحف مطرد منذ ما يقرب من اربعة آلاف مليون سنة .

كانت النتيجة ان المتعضيات احتفظت بطبيعتها الجوهرية ولكنها انقسمت وتطورت الى تنوعات شتى هائلة بغية استغلال جميع المصادر الكيميائية والطاقة ، والاشكال المختلفة المتضاربة والبشعة الى حد اللامعقول للحشرات والاحياء المجهرية تشهد على الهيئات التي تستطيع الحياة ان تتخذها لبلوغ هذا الهدف . كما ان الاحوال التي تمكن المتعضيات الاعتياش فيها ومواصلة البقاء في بقعة بيئية مذهلة حقا . فبوسع الطحلبة سيانديوم كاليداريوم (calidarium cyandium) في محاليل مركزة من حامض الكبريتيد الحار ، ويقال ان بوسع البكتيريا المنتجة للكبريتات ان تنمو وتتكاثر في درجات حرارة تبلغ (١٠٤°) مئوية تحت ضغوط عالية ، والعديد من المتعضيات

تستخدم مقاومات تجمد عضوية ولا عضوية لتخفيض نقطة التجمد لسوائلها الباطنية ليتسنى لها العيش في عدة عشرات من الدرجات تحت الصفر المئوي. بعض الحشرات تستعمل كبريتوكسيد الدايمثيل (dimethyl sulfoxide) كمضاد للتجمد.

وعليه ، ان البيئات التي تستطيع الحياة والتواجد فيها متطرفة ومتنوعة، والامثلة العديدة توضح قدرة المنظومة البيولوجية على التكيف من خلال الانتقاء من التنوع في الانزيمات والعمليات المشتقة منها . ومع ذلك، فجميع اشكال الحياة المختلفة هي في الاساس واحدة نفسها، تستخدم حوامض النووية كمخزنها للمعلومات وتستخدم الانزيمات لتخفيز تحويلاتها الكيميائية . كما ان لبنات البناء متطابقة نفسها ايضا، انما تختلف المتعضيات في البنى المركبة منها فقط.

وبالنتيجة ، عندما تأمل امثلة الحياة ، نجد انه يوجد واحد منها فقط.

ان المسألة هي ما اذا يوجد مثال واحد من الحياة لأنها تستطيع التواجد فقط في شكل واحد، وعليه فهي فريدة فذة ، أم ان هذا هو الشكل الذي تخلف في البقاء من بين عدد من الاشكال الممكنة كان بوسعها التواجد فيها . سبق لنا ان تأملنا الفكرة ان المتعضيات تستخدم الحوامض الامينية ايل الفا (Lamino acids) وسكاكر دي (D-Sugars) ، لكن ليس ثمة مبرر لعدم تكونها من حوامض امينية دي الفا (D) وسكاكر ايل (L) . كما كان بوسع المدونة الجينية (genetic code) ايضا ان تتألف من تشكيلات أخرى بدون التضحية بأي قدر من الكفاءة والفعالية . توجد حالات حصل فيها انتقاء ليس من جراء فائدة تجنى، وانما بسبب امكان استعمال متقابل قطبي (antipode) واحد ومدونة واحدة فقط، وأملت الاختيار في حينها الظروف

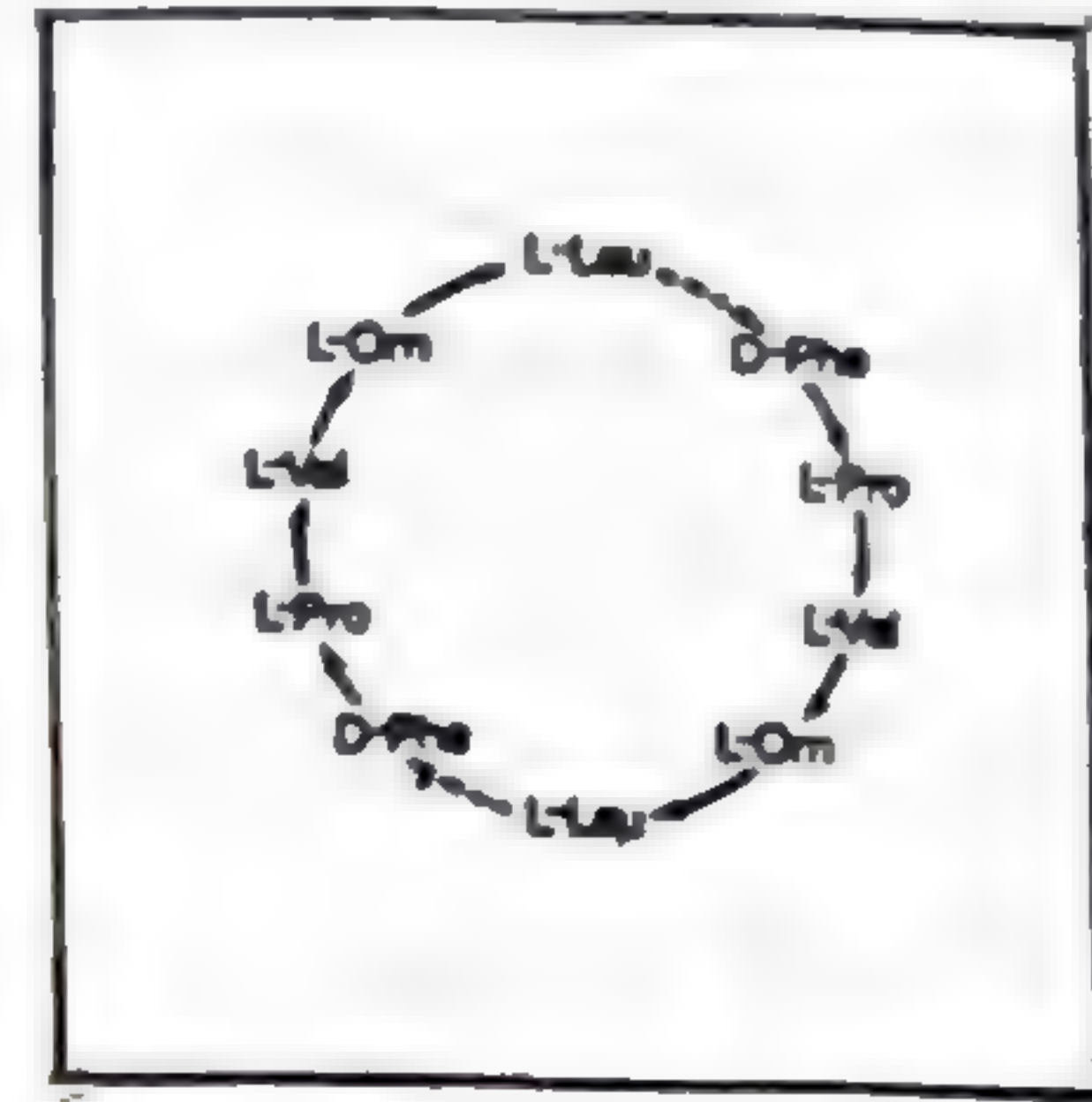
المحيطة . غير انه ما ان التأمت الخلايا الحية حتى اصبحت جميع الكائنات الحية مرتبطة في صنف واحد من المنظومة البيولوجية طوال بقية تواجدها حياتها.

هل كان يمكن أن تبدأ الخلايا البدائية بصورة مختلفة ؟ تقول ميري ايلين جونز (Mary Ellen Jones) من جامعة براندايس وفريتز ليمان (Fritz Lipmann) من معهد روكفيلر انه كان بإمكان المتعضيات الحية الاولى أن تستخدم البولي فوسفات اللاعضوية بدلا من الأت ب (ثلاثي فوسفات الادنوسين) لاستحالة الطاقة (energy transformation) . فاذا كان البيروفوسفات قد سبق الأت ب كركب الفوسفات الاولي الغني بالطاقة ، فانه من الممكن ان تتواجد بقايا تآيضية من هذا الصنف بين الاصناف البدائية من المتعضيات على قيد الحياة اليوم . وبالفعل ، وجد ان الامر كذلك، فقد اكتشف آي أس كوليف^(٢) (I.S. Kulaev) وجود بكتيريا وفطريات تتضمن انزيمات تقوم بتحفيز تمثيل البيرو فوسفات اللاعضوية بدلا من الأت ب، ووجد بالتشفسكي^(٣) (Baltscheffsky) ثمانية تفاعلات تشمل بولي فوسفات لا عضوية في البوصيات الملونة او الكروماتوفور (chromatophores) عند البكتيرة رودوسبريلوم روبروم (Rhodospirillum rubrum) ، وهي بكتيرة ضوء نميلية . فاذا كان البيروفوسفات قد استخدم قبل الأت ب في التآيض الخلوي فانه ربما كان قد اهل من جراء قدرة النووتيدة على اقامة علاقات ارقى وأكثر نوعية مع الايضات الخلوية ، اضافة الى قدرة الأت ب على انجاز وظائف أخرى بعيدة عن تناول البولي فوسفات اللاعضوية.

هناك فكرة أخرى تفيد ان ربما كان يتم تمثيل الهضيميتيدات البدائية بطريقة سبقت تمثيل البروتين الريبوسومي حيث سياق الحوامض الامينية مدون

في سياق قاعدي لحامض نوويك . ان الغلوتاثيون وحامض البولي غلوتاميك
(Glutathione, polyglutamic acid)
L-Glutamyl-L-cysteinylglycine = Glutathione

٦/ - كما - ايل - غلوتاميك - ايل - سيستينيل - غلايسين) هما هضميتيدان غير
مدوتين^(٤)، مثلما هما الغراميسيدين اس والتيروسيدين (tyrocidine S, tyrocidine)
مثلما هما مقاران ضد الحيوية الميكروبية.



الشكل ٢/٢٦ - بنية الغراميسيدين اس.

يتألف الغراميسيدين اس من هضميتيدة عشرية دائرية (cyclic decapeptide) تضم سلسلة مكررة من خمسة حوامض امينية مختلفة تشمل الدي-فينيل الانين (D-phenyl alanine) والاورثين (ornithine) اللذين لا يتواجد كلاهما في البروتينات. واكتشف لبان وزملاؤه^(٥) ان كسرين انزيمين متحدين من البيلاس بريفس (Bacillus brevis) يقومان بتمثيل الهضميتيدة العشرية هذه عند تغذيتها بالأتب والمغنسيوم ++ (ATP, Mg++) وخمسة حوامض امينية.

يبدو ان الهضميتيدة الخماسية (pentapeptide) تكون بألية مماثلة للطريقة التي يتم بها تمثيل الحوامض الدهنية . ولتمثيل الحوامض الدهنية

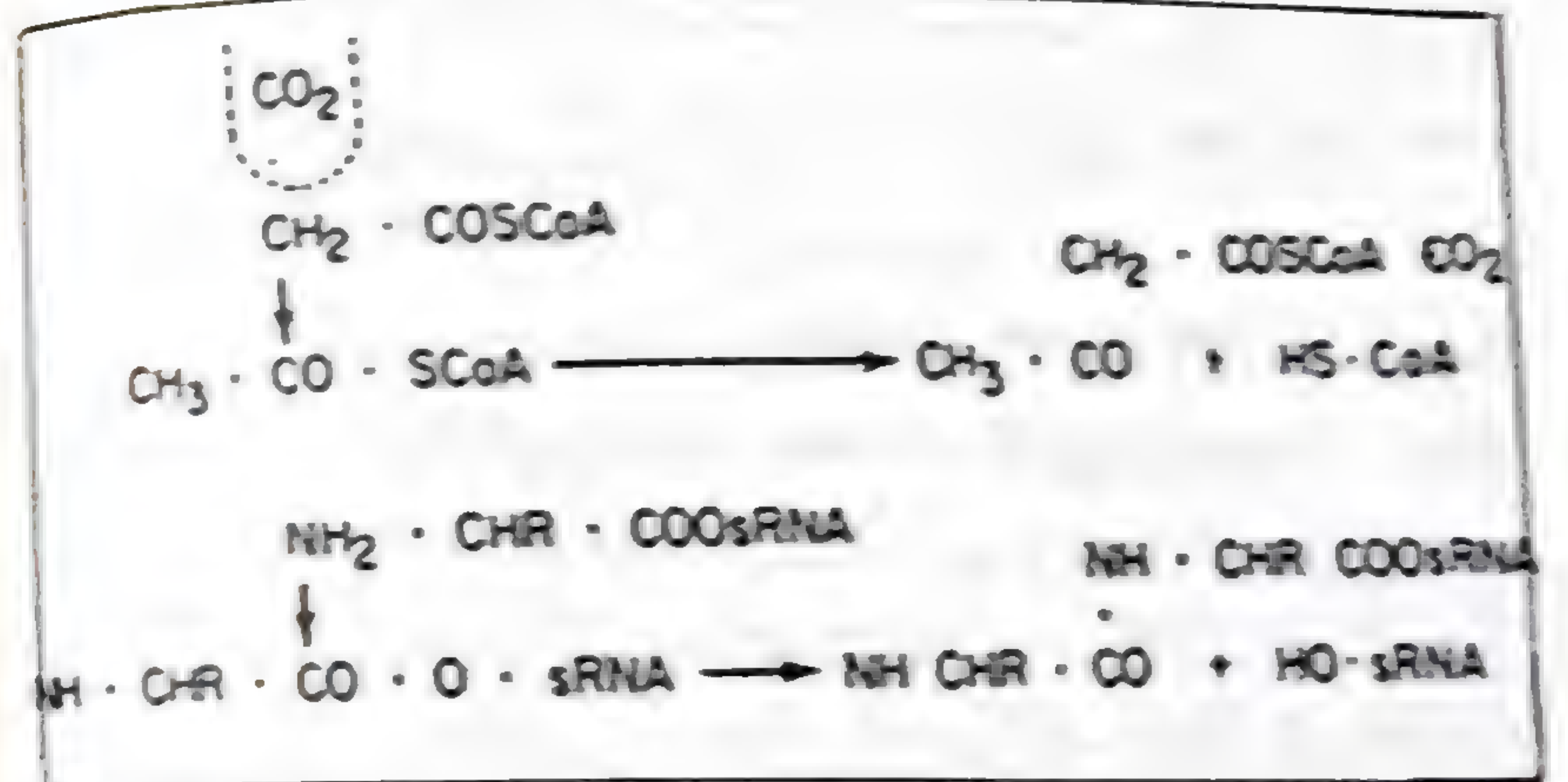
(fatty acids) يتم تكثيف واختزال مشبوكات الانزيم المساعدة - اس (acetyl-S-coenzyme A complexes) اثناء بقائها مرتبطة بالجهاز المتعدد الانزيم . وقد وجد لبان انه يتم تمثيل الهضميتيدة الخماسية للغراميسيدين بطريقة مماثلة ، ابتداء بالدي فنيل الانين متبوعا على التوالي باضافة البرولين، والفالين، والاورثين، واللوسين ، وينجز تمثيل الغراميسيدين بارفاق سلسلتين في جزيئة الهضميتيدة الخماسية الدائرية . كما تقوم البكتيريا باتساج التيروسيدين بنفس الطريقة^(٦) . لكن البولي هضميتيدات التي يتم تمثيلها بهذا الاسلوب محدودة الطول، واطولها هي المضادات للحوية ذوات السلاسل المستقيمة المتألفة من خمسة عشر (١٥) حامضا امينيا.

بما ان تمثيل الحوامض الامينية جوهرية للغشاء الخلوي فلا بد انه يعود الى أقدم اشكال التمثيل الحيوي لدى الخلايا البدائية . ويقترح لبان^(٧) أن الشبه بين تمثيل الحوامض الدهنية وتمثيل العقاقير المضادة للحوية ربما يدل على ان هذه الطريقة أكثر عتاقة من تمثيل البروتينات الريبوسومي الارتباط.

الا أن انزيمات الكبريهيدريل (sulfhydryl) مجموعة عادية ولا يوجد ما يدل على ان نوعية الانزيم في ربط الحوامض الامينية بهضميتيدات صغيرة تختلف بأي وجه عن ارفاق مجموعة كيميائية في تمثيل مركبات أخرى . يتم هذا التفاعل بواسطة محفزات بروتينية مشبوكة ولو كان قد سبق الانزيمات الى الظهور فانه كان ليكون لا نوعيا . اننا الأكثر احتمالا هو أن هذا التمثيل اللاريبوسومي لا يسبق الانزيمات بل ان البكتيريا طورته لاضفائه فائدة ما بجعل تمثيل العقاقير المضادة للحوية يتم في موقعه في جدار الخلية أو مكان مماثل بواسطة الانزيمات.

بالرجوع خطوة أقدم في الزمن يمكننا المسألة إذا كان يمكن أن تكون الحياة من لبنات بنائية غير النوتيدات والحوامض.

في بادئ الأمر استلزم قيام أقدم الخلايا توفير طريقة للتساخ الجزيئي لكي تكون حية جينيا. كما استلزم أن يكون الأساس بنية كيميائية تتساك بوحدة كيميائية أخرى على نحو متق أثناء تكاثرها لنسخ نسخة من ذاتها، ولزم أن يكون الترابط قويا بما يجعله وظيفيا ولكن أيضا ضعيفا بما يتيح للنسخ أن تنفصل بعد الاتساخ. إضافة إلى كل هذا لكي تعمل المادة الجينية بمثابة المركز المعلوماتي لجميع المكونات الخلوية في متغذية حية أيضا، لزم أن تتألف من عدة وحدات أي أنه يجب عليها أن تضم قطعا معلوماتية عديدة في باطن جزيئة كبرى.



الشكل ٢/٢٦ - مقارنة بين تمثيل الحوامض الدهنية وتمثيل الهضيميتيد
اللامرئزة.

يتألف أساس المادة الجينية للحياة على الأرض من اليورينات والبريميدينات مع ارتباطها الهيدروجينية. لكن هذه الكيمايات لوحدها تعجز عن أداء جميع المتطلبات نظرا لعدم قدرتها على التكثف مع بعضها البعض لصنع البوليمرات، إنما يمكنها التكثف مع السكر وهذه يمكن نسخها، فتستطيع وحدات النوتيدة الارتباط في اربطة اسهامية ثائية الايسترة. غير أن ما يثير الاهتمام هو أنه حتى بعد كل هذه العملية الشديدة التعقيد لصنع بوليمرات تتضمن قواعد دائرية لا تجانبية، لا تقوم البولي نوتيدات بصنع النسخ مباشرة بل أنها تصنع «السواب» (negatives) فقط، وهذه تعمل كرسومة (template) تؤخذ النسخ عنها.

تبدو هذه طريقة معقدة ومتواشجة للغاية، ولكنها واصلت البقاء وتبينت الخلايا البدائية لسبب واحد هو أنه يمكن نسخ أو نقل بنية البولي نوتيدة ليس فقط إلى بولي نوتيدة أخرى وإنما يمكن أيضا ترجمتها إلى مواد كيميائية من طبيعة مختلفة ووظيفة مختلفة، أي إلى هضيميتيدات التي تطورت إلى مخزونات شديدة القوة.

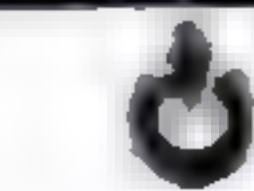
للهولة الأولى تبدو الحوامض الامينية بأنها الاختيار المنطقي لتكون الجزيئات المعلوماتية، فهي متنوعة وتضم مجموعة كربوكسيل وامينية تتيح للوحدات الارتباط ببعضها البعض. غير أنه رغم قدرتها على تكوين البوليمرات بطريقة أكثر مباشرة من اليورين والبريميدين، فإنها تعجز عن القيام مقام الجزيئات المعلوماتية لتعذر استخراج المعلومات، ولا تقوم سلاسلها الجانبية بالتفاعل بدقة بالطريقة التي تسمح بها القواعد. وكتيجة، لم تصبح عملية نسخ وترجمة البولي هضيميتيدات ممكنة لدى المنظومات البيولوجية قط. (ملاحظة: يبدو أن العامل المسبب لداء العصب (scrapie) في الأغنام هو شكل تاسخي بحجم الفيروس يتضمن البروتين ولكن بدون حامض النويك^(٨)، لا تزال



طريقة تكاثره وعن التحديد ، لكن فيه اس غريفة (١٩)
 اقترح ان البروتين يعمل كسفن (سفن) لادكاء جسم مضاد (مضاد)
 مطابق له تماما.

قامت الحياة بطيئتها الخاصة البيولوجية المكونة من البروتين
 والبريدين والحوامض الامينية، لأن هذه كانت هي المواد الكيميائية المتوفرة
 على الأرض ما قبل الحياة . وتولدت السيانيدات (Cyanides) بعمل الحقة
 على القارات البركانية للأرض البدائية، فتكثف سيانيد الامونيوم بوجه رئيس
 الى يورينات وعدد صفوة من الحوامض الامينية الأولية. في هذه المرحلة
 تكون البريديونات ابطا ولكنها كان يتم امتصاصها انتقائيا لتندمج في الاجرة
 الوظيفية . انما الاكثر اجابة في الامر هو ضاكة عدد الكيمياء التي تكونت
 عن عليه التكثف ، وكانت رغم ذلك قواعد كافية لتوليف الخلايا التي أصبحت
 اشكال الحياة الذاتية الادامة.

فقط أربعة عناصر، وهي الكربون والهيدروجين، والنتروجين،
 والاكسجين، تشكل ثنائي وتسعين بالمائة (98%) من تركيبة البروتوبلازما.
 ولستاء الهيليوم، هذه هي العناصر الأربعة الأكثر غزارة في الكون، وعليه
 لا يمكن أن تمرى نشأة الحياة الى عناصر قادرة ، ولا تتألف لبنات البناء من
 مركبات غير اعتيادية، بل انها تتكون بسرعة وسهولة من تكثيف السيانيد.
 ومن بين الستة والثلاثين (36) عنصرا التي تستعملها المتعضيات ، وجد جيب
 ايج ماكيندون (J.H. Macdonald) أن تسعة منها فقط جوهرية ، وهي
 الكربون ، والهيدروجين ، والنتروجين ، والاكسجين، والتوسفور ،
 والكبريت ، والمنسيوم ، والبوتاسيوم، والحديد. أما السبعة والعشرون
 الأخرى فليست جوهرية للحياة ولكنها اندمجت فيها لأنها كانت مفيدة وكانت
 متوفرة في البيئة بكميات كافية.



كما انه من بين التسعة عناصر الجوهرية المذكورة أربعة منها فقط، هي
 الكربون ، والهيدروجين، والنتروجين، والاكسجين، تتميز بفعالية فريدة
 تجعلها لا يمكن الاستغناء عنها لتتبد بنية المنظومة البيولوجية . أما العناصر
 الخمسة الأخرى، أي التوسفور ، والكبريت، والمنسيوم، والبوتاسيوم،
 والحديد، فإن خواصها الكيميائية في الاحوال الأرضية تجعلها جوهرية
 لكيمياء الحياة المتطورة . الا ان هذه الخواص لا تقتصر استثابا على
 هذه العناصر فقط وانما تتواجد لحد ما ايضا في عناصر أخرى متسبة اليها.
 فانه من المقول ، في بيئات كيميائية مختلفة ان تنشأ منظومة بيولوجية حيث
 يأتي الزرنيخ بديلا للتوسفور ، والسيلينيوم للكبريت ، والمنغنيز للمنسيوم،
 والروبيديوم للبوتاسيوم، والكوبلت او النيكل او الفناديوم للكبريت .

أما الكربون، فهو عماد الحياة الرئيس، فهو بقدرته العجيبة على الارتباط
 مع العديد من العناصر بما فيها ذرات الكربون الأخرى، وتشكيل تنوع هائلة
 هائلة من التوليفات ، يعلو على جميع العناصر الأخرى قاطبة بصفته مكون
 عروج المنظومات البيولوجية . وهو جوهرى يستحيل الاستغناء عنه وشائع
 بحيث يظل للمرء أن الحياة مبنية على الكربون حتما. ورغم ذلك، يوجد
 عنصر آخر ايضا كثير الشيوع على الأرض ويسلك القدرة على ربط نفسه
 وعناصر أخرى في سلاسل طويلة وتوليفات مختلفة شتى مثل الكربون الى
 حد كبير، وهذا هو العنصر سيليكون (Silicon) .

بوسع السيليكون ان يكون مركبات سلاسل (س-س) (Si-Si)
 لكن هذه أقل استقرارية من قطائرها الكربونية ، اذ تبلغ قوة الرابطة كربون-
 كربون ديناميكيا زهاء ضعف قوة الرابطة سيليكون-
 سيليكون. من جهة أخرى يملك السيليكون الفة شديدة للاوكسجين ،
 وتشكل سلاسل (Si-O-Si-O) المستقرة للغاية الصفائف البلورية للكوارتز



وفلزات أخرى عديدة • يتحد الكربون أيضا مع الاوكسجين بسهولة ، لكن الناتج يختلف تماما • اذ ينما ثاني اوكسيد السيليكون يشكل مكونا للرمل، يشكل ثاني اوكسيد الكربون غازا، وخاصة التطاير في المركبات الكربونية هي التي أفضت الى تركيز الكربون في النطاق المائي والجوي للأرض.

لا يمكن أن يكون السيليكون اساسا صحيحا للمنظومات البيولوجية ابداء، انما توجد فرضية تفيد لربما أن فلزات السيليكون لعبت دورا في نشأة الحياة. يقول أي جي كيرنز سميث (A.G. Cairns-Smith) من جامعة كلاسكو أن باعتقاده أن الخلية الوظيفية كانت لتكون أكثر تعقيدا من أن تلتئم من لبنات البناء ما قبل الحياتية ضمن فترة معقولة من الزمن وفي الظروف العادية ، ويطرح بدلا من ذلك أن الحياة نشأت بواسطة الالتقاء الطبيعي من بلورات لا عضوية.

عندما تشكل البلورات تظهر العيوب كثيرا في الشبكية وتتسخ هذه في تبلورات أخرى، وبما أن تناسخ هذه العيوب ذاتي الالتقاء، فانه يشل تناسخا لا يختلف عن تناسخ الحوامض النووية. وفي الحقيقة بوسع العديد من انواع البلورات ، من حيث المبدأ أن تستوعب قدرا كبيرا من المعلومات، ويمكن أن تكون الكثافة المعلوماتية في بلوريت (crystalite) الصلصال الغرواني مدانية لنظيرتها في الدنا DNA •

يحتاج كيرنز سميث انه كان بإمكان بلورة كجينة بدائية أن تتحكم في تطور الجزيئات الكبرى العضوية من خلال التصاب الجزيئات العضوية بها. كانت نشأة الجينوغرافات (geneographs) البدائية لتتم من خلال التطور الدقيق الاتقائي الذي تضمن خاصية تواصلية لبلوريات الصلصال الذي احتواها، وأخيرا يعتقد أن المتعضية الاولى ظهرت بفعل استحالة جينية

آلية التحكم ونبتت البلوريات. (genetic metamorphosis) فيما تولت الجزيئات الضخمة العضوية بالتدريج

رغم ان الكيمياء التي قامت منها الحياة عادية ، فربما ان ظروف تطور الارض كانت غير عادية للغاية • كان حجم الارض وبعدها عن الشمس ذا خطورة دقيقة، فان الحرارة المتولدة من تفكك العناصر المشعة، بعدم قدرتها على التبدد في الفضاء، هي التي حملت الارض خلال تطور حراري، وبأنفس الاثناء محررة المتطايرات من الجوف وخالقة النطاق المائي والنطاق الجوي. وينفرد كوكبنا الارض هذا ، بين جميع الكواكب والنيازك والاقمار ، بكونه الكوكب الوحيد الذي يملك الماء بغزارة.

أما الزهرة، وهي الكوكب الأكثر شبها بالارض من حيث الحجم والمساحة، فانها احتبست في ظاهرة مستتب اخضر فالتة واضاعت ماءها وكل فرص نشوء حياة افروديتية من جراء اشتداد حرارة سطحها بنسبة عالية • لكن المريح، مع شواهد على تاريخ بركاني سابق، فيبدو أنه في عصر جليدي، والماء الذي كان مرة يجري على سطحه لا يزال باقيا محتبسا في قبعات قطبية جليدية • وما وراء المريح والنيازك تدور الكواكب العملاقة ، المشتري، وزحل، واورانوس ، ونبتون • رغم ان هذه الكواكب الخارجية الاربعة اكبر بكثير فانها تختلف عن الكواكب الارضية او الترابية (terrestrial) بشكل بارز في التركيبة الكيميائية، فهي تتألف تقريبا كليا من الغازات. يتألف المشتري من ثمانين بالمائة (٨٠٪) من الهيدروجين^(١٢)، وزحل من ستين بالمائة (٦٠٪) ، مع تكون البقية تقريبا بالتاكيد من الهليوم، ورغم ان اورانوس ونبتون يتضمنان مقادير من الكربون ، والنيتروجين، والاكسجين، فانها ايضا يتألفان من الغازات المتجمدة والسائلة.

من الصعب تصور نشوء منظومات بيولوجية في غياب الماء. مع ذلك ربما توجد انحاء في المنظومة الشمسية تتضمن بيئة مائية أو ندية قليلة السحب بالأرض ولكنها ربما اعالت مراحل بدائية من الحياة . يتألف جو المشتري من الميثان، والامونيا، والهيدروجين، وهي الغازات البدائية التي بوسمها أن تقضي الى تكون مواد ما قبل حيائية . الا أن هذا الجو ليس متوحد الانتشار وانما متراكبا في طبقات من التدرج الحراري . توحى الاحتمالات التي أجراها غاليت^(١٣) (Gallet) الى أنه ينبغي أن تتواجد منطقة من عواصف امطار الامونيا تحت سحب بلورات الامونيا المنجمدة ، وتوجد طبقة من الامونيا الغازية تحت نطاق تقطرات الامونيا . وتوجد طبقات أو تشكيلات جليدية بمسافة بضعة كيلومترات الى الاسفل من سحب الامونيا ، يليها ماء سائل وبخار الماء . ويقول كارل ساغان^(١٤) (Carl Sagan) انه يمكن للمركبات العضوية المشتقة من الامونيا والميثان أن تتفاعل في هذه المنطقة لتقضي على نشوء الجزيئات الأكبر الضرورية للحياة .

ولاختبار هذه الفرضية قام فريتز وولر (Fritz Woeller) وسيريل بونامبروما^(١٥) (Cyril Ponnamparuma) في مركز أيميز للبحوث بأجراء التجارب حول التفاعلات في أجواء زحل مفتعلة بطريقة التفريغ الكهربائي . وبالفعل، تضمن الكسر المتطاير من التجربة طلائع العديد من المركبات البيولوجية . لكن بالإضافة الى المتطايرات انتج هذا التفاعل أيضا كسرا لا متطاير يتألف من بوليمرات برتقالية الى حمراء . وحدس وولر بونامبروما، ربما أن هذه المادة البوليمرية هي المسؤولة عن لون البقعة الحمراء الكبرى في المشتري . أن أكثرية العوالم الكبرى في منظومتنا الشمسية ليست كواكب، وانما اقمارا . يوجد ثلاثون قمرا تدور حول المشتري، وزحل، وأورانوس، ونبتون،



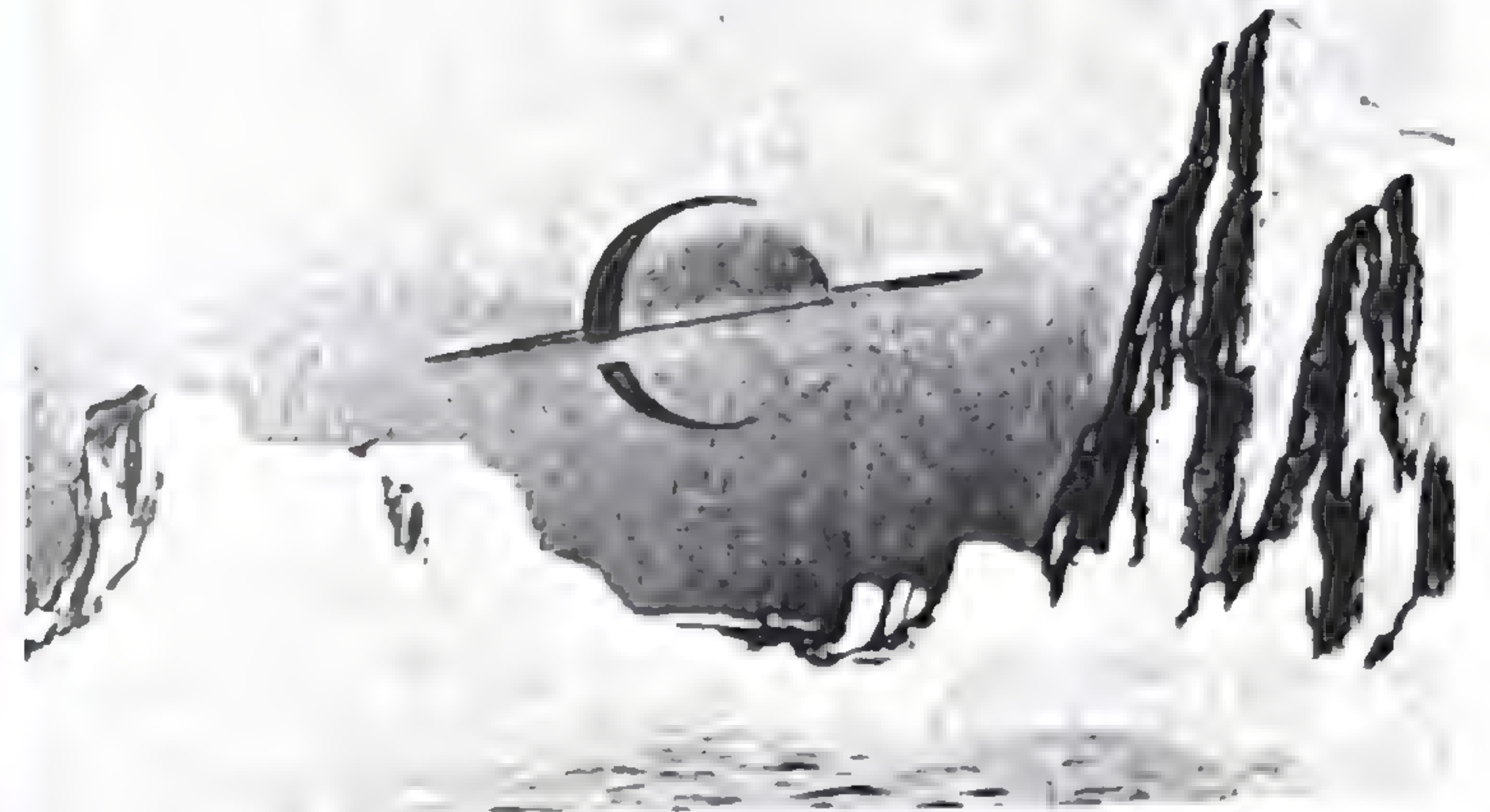
بعضها كبير جدا . كما أن رحلات المركبات فوياجر قد أدت الى اكتشاف اقمار عديدة غيرها . ثلاثة من اقمار غاليليو الاربعة التي تدور حول المشتري، وهي اوربا، وغايميد، وكالستو (Europa, Ganymede, Calisto) تضاهي في الحجم كوكب عطارد (الكوكب الاقرب الى الشمس) ، وكذلك هما قمر زحل التيتان (Titan) وقمر نبتون تريتون (Triton) . ليست هذه كتلا ضخمة من الحطام كغوبوس وديموس (Phobos, Deimos) اللذين يدوران حول المريخ، وانما هي اجسام ضخمة كبرى بحجم قمرنا واكبر، كل منها عالم مختلف في نوعه، وبعضها يملك اجواء رقيقة ، وبعضها مغطى بالجليد . توجد في تلك الاكارع النائية من منظومتنا الشمسية اقمار كلية بكثافة الجليد واقطار بطول اميال عديدة، تدور حول الكواكب ككرات ثلجية ضخمة في الفضاء .

تملك الاقمار الأكبر كثافات منخفضة دلالة على مؤلفات (composites) من مواد صخرية جليدية . ويحدس أن الحرارة من التفسخ الاشعاعي في جوف هذه الاجسام الكبرى أدت الى الذوبان وتسببت في استقرار السيليكات في اللب بمثابة اطيان مرصوفة مدمكة وشكلت قشرة رقيقة من الجليد تعوم على جبة سمكية من الامونيا والماء . يبدو ان بعض الاسطح تتألف كليا من الجليد بينما ربما يتألف غيرها من خلائط من هيدرات جليدية (ice hydrates) من الامونيا ، والميثان، ومواد مختلفة . تمثل هذه الاقمار طائفة جديدة كلية من العوالم ذوات تركيبات وبنى مختلفة، وتعد بطائفة جديدة كلية من الظواهر .

يبدو تيتان، وهو أكبر اقمار زحل، ان له جوا كثيفا نسبيا ، اكثف بعدة اضعاف من جو المريخ، مع سحب حمراء تحجب عادة سطح القمر . وقد اكتشف فيه الميثان ، وربما ان الامونيا موجودة، ايضا، وعلى ما يبدو يوجد



فيه قدر كبير من الهيدروجين. ان أثر الهيدروجين هو انه يخلق ظاهراً المستتب الاخضر التي ترفع درجة الحرارة تقريبا الى مستواها الارضي. فاذا ثبت في النهاية ان المريخ عديم الحياة، فان المكان الآخر ضمن أسرتنا من الكواكب الذي ربما قد تفق عن الحياة يقع على بعد الف مليون ميل من الارض في قمر زحل المسمى تيتان.



الشكل ٢٦/٤ - زحل، مرئيا من اكبر اقماره ، تيتان ، الذي يبعد عنه سبع مائة وستين الف (٧٦٠٠٠٠) ميل، كما تخيله الفنان تشيزلي بونيستيل.

نملك أفكارا عميقة الفور عما هي الحياة وما ينبغي أن تكون، وكل ذلك من مثالنا الذاتي الوحيد . وفيما نجوب ارجاء عوالم أخرى ربما اتنا نعرض انفسنا لعديد من المفاجآت . لقد نشأت الحياة على الارض واتخذت طبيعتها

الخاصة لأنها كانت ممكنة من المواد ما قبل الحياتية التي توفر لها الزمن الكافي لتنظم في منظومة بيولوجية . وبتوفر الزمن الكافي غدا محتما ما كان قبلا ممكنا. والزمن هو المعلم الحدي الذي اتاح للحياة الحصول ، فهو اثنى بكمبيوتر يسمح لجميع الخلائط والتركيبات الممكنة حتى يجد حلا. مع ذلك، مع مواد أخرى وبيئات كيميائية أخرى، تظل امكانية نشوء منظومات بيولوجية مختلفة جذريا قائمة . ربما ان الامونيا السائلة أكثر شيوعا في منظومتنا الشمسية وفي جميع ارجاء الكون أكثر من الماء السائل. فاذا تم تحري جميع امكانيات حصول الحياة في الكون، لربما سيكون حصولها في الماء سائدا.

بينما يكون الماء سائلا بين درجتى الحرارة صفر الى مائة (٠-١٠٠) مئوية ، تكون الامونيا سائلة بين درجتى الحرارة ناقصا ثمانى وسبعين الى ناقص ثلاث وثلاثين (٧٨- الى ٣٣) مئوية في ضغط جوي قدره جو واحد. يملك الماء توترا سطحيا عاليا يجعله مثاليا لتكون الخلايا ذوات فواصل بينية دهونماء . لكن الامونيا اقل دبقا أو لزوجة بكثير ، والمواد القطبية أكثر ذوبانا في الماء مما في الامونيا ، وعلى سبيل المثال ان الكلوريد ، والكبريتات ، والهيدروكسيد ، والاكسيد ، كلها غير قابلة للذوبان في الامونيا.

لكن لما كان مثالنا الفريد المعلوم من الحياة قد نشأ كمنظومة بيولوجية متكيفة لبيئة مائية ، فانه بطبيعة الحال تبدو خواص الماء لنا مثالية الى أقصى الحدود. لكن شكلا من السمك يسبح في بحيرة من الامونيا السائلة بلا شك سيجد عالمنا حارا لا يطاق والخواص الكيميائية للماء نزيعة وكريمة على حد سواء.

نشأ نوعنا الحياتي من المركبات ما قبل الحياتية التي تكونت من الغازات

المبثة بفعل النشاط البركاني . فاذا تعرضت عوالم أخرى ذات تركيبة مختلفة لفعل البراكين أيضا فيمكن أن يختلف جوها إلى حد كبير عن جو الأرض البدائية . إنما هل تكون آنذاك قد تمخضت عن منظومة بيولوجية مختلفة ؟ لربما أن الجواب هو كلا . أن تجربة ميلر لا تعتمد على التركيبة الكيميائية للغازات بقدر ما تعتمد على العناصر الموجودة . أن جوا منقوصا يتضمن الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين ، والأكسجين ، بصرف النظر عن الشكل الكيميائي ، سينتج ، عند تعرضه لطاقة عالية ، نفس لبنات بناء الحياة التي تكونت على الأرض البدائية .

ربما تتواجد الحياة في جميع أرجاء الكون في أشكال عديدة مختلفة وفي بيئات متطرفة ، إلا أنه يبدو كثير الاحتمال أن يكون أساس الحياة هو نفسه في كل مكان . وهو من هذه الوجهة مزية مفذاذ . أن الحياة هي مجرد شيء يحصل . أنها كالتفاعلات الحرارية ونووية في نشأة وتطور النجوم . أن الحياة همزة الوصل بين المادة والطاقة تحصل تلقائيا عندما تقع الأحوال ضمن حدود ضيقة ، وتتطور في مراحل . ربما توجد تنوعات عديدة من المادة والطاقة ، لكن كيميائها وفيزيائها في الجوهر يتخذان نفس النمط ، وهذا النمط كوني جامع .

الفصل السابع والعشرون

المركبات العضوية في الكون

قبل مائة وخمسين عاما بهر فريدريش فوهلر (Friedrich Wöhler) الاسرة العلمية باتاج اليوريا من سيانات الامونيوم . وفي تجربة بسيطة اثبت بالبرهان على عدم وجود أي حاجز فاصل لا يقحم بين المواد البيولوجية والمركبات اللاعضوية . وبالنتيجة كان كل من فوهلر وميلر (Stanley Miller) قد أورد الأدلة الايضاحية الثبوتية على صحة نفس المبدأ ، على وجود صلات تبادلية قابلة للتحويل بين الجزيئات البسيطة للأحياء البيولوجية والطبيعة الكيميائية للتركيبة الأرضية الجيولوجية . أنه لمن غريب الصدف في الواقع أن يكون فوهلر قد درس أيضا ظاهرة قائمة في يومه بقيت بلا حل إلى أن جددت التحريات فيها في نفس العام الذي قام ميلر فيه بأجراء تجربته .

في عام ١٩٥٣ فيما كان ميلر عاكفا على اجراء تجربته بالتفريغ الكهربائي في جامعة شيكاغو نهض خبير جيولوجي في لندن يستفسر من المتحف البريطاني عن امكانية السماح له بتحليل عينة من مجموعة النيازك المختزنة فيه . لقد كان معلوما منذ ايام برزيلوس وفوهلر أن بعض النيازك تتضمن مواد عضوية . لكن لما كانت المواد العضوية تتأثر تقريبا كليا من كائنات حية ، فإن فكرة وجودها في النيازك اسفرت عن مدلولات مذهلة فوق العادة لم يقبلها العقل . كما أنه من البداية كانت النيازك محطا لمشاكل التصديق .

في الاقل منذ فجر التاريخ والحكايات والاساطير الشعبية تتداول حول أحجار ، وحتى كتل من الحديد ، تتساقط أحيانا على الأرض . لكن عصر العقلانية خلق تشكيكا اعتبر معه هذا الامر مستحيلا . وعندما سقط حجر

في بلدة لوسيه بفرنسا في عام ١٧٦٨ شكلت لجنة برئاسة الكيميائي الفرنسي
انطوان لامواريه (Antoine Lavoisier) للتحقيق في الامر، وكان قرار اللجنة
الختامي ان النيزك كان صخرة ارضية . وقعت ثلاثة تساقطات أخرى في اوروبا
في السنوات التسعين من القرن الثامن عشر (١٧٩٠) تم الاحتفاظ بمينات
منها لكن الرأي العلمي بقي متصلا في موقفه، ولم تعترف اكااديمية العلوم
الملكية في باريس بإمكانية سقوط احجار من السماء الى أن تسطرت آلاف
منها على مدينة ليغل (l'Aigle) بفرنسا في ظاهرة عجيبة وقعت في ٢٦ نيسان
١٨٠٣ .

تصنف النيازك في ثلاث فئات رئيسة ، حداثد ، واحجار ، وحداثد
حجرية، ويجري تقسيم كل من هذه في صنوف فرعية بحسب التركيبة، ويوجد
اتفاق ملحوظ بين هذه الصنوف من حيث محتوياتها من العناصر والفلزات،
مع تشعب بارز بين الفئات . جميع المقومات الفلزية الرئيسة تأتي بنفس صفة
الفلزات الارضية ، وغزارة تواجد العناصر في النيازك تتطابق بانتظام مع تلك
المعلومة عن الارض . جميع المقومات الفلزية الرئيسة تقع على غرار الفلزات
الارضية ونسب كثره تواجد العناصر في هذه النيازك ايضا تتطابق بانتظام
مع ما هو معلوم للارض .

بما ان النيازك تنزع الى التعرية بسرعة ولأنها صعبة التمييز عن الصخور
العادية، فإن ما هو موجود في المتاحف هو النيازك من فئة الحداثد بأسطحها
المجزعة المبرقة . وقد وجد من تجميعه للنيازك تمت سريعا بعد سقطة منها أن
نسبة (٩٤٪) منها كانت احجارا . ومن بين الاحجار ظهر ان ثمانين بالمائة
(٨٠٪) كانت من الغضروفيت او الكوندريت (chondrites) متميزا بجسيمات
مستديرة من الانستاتيت (enstatite) من فصيلة البيروكسين (pyroxene)

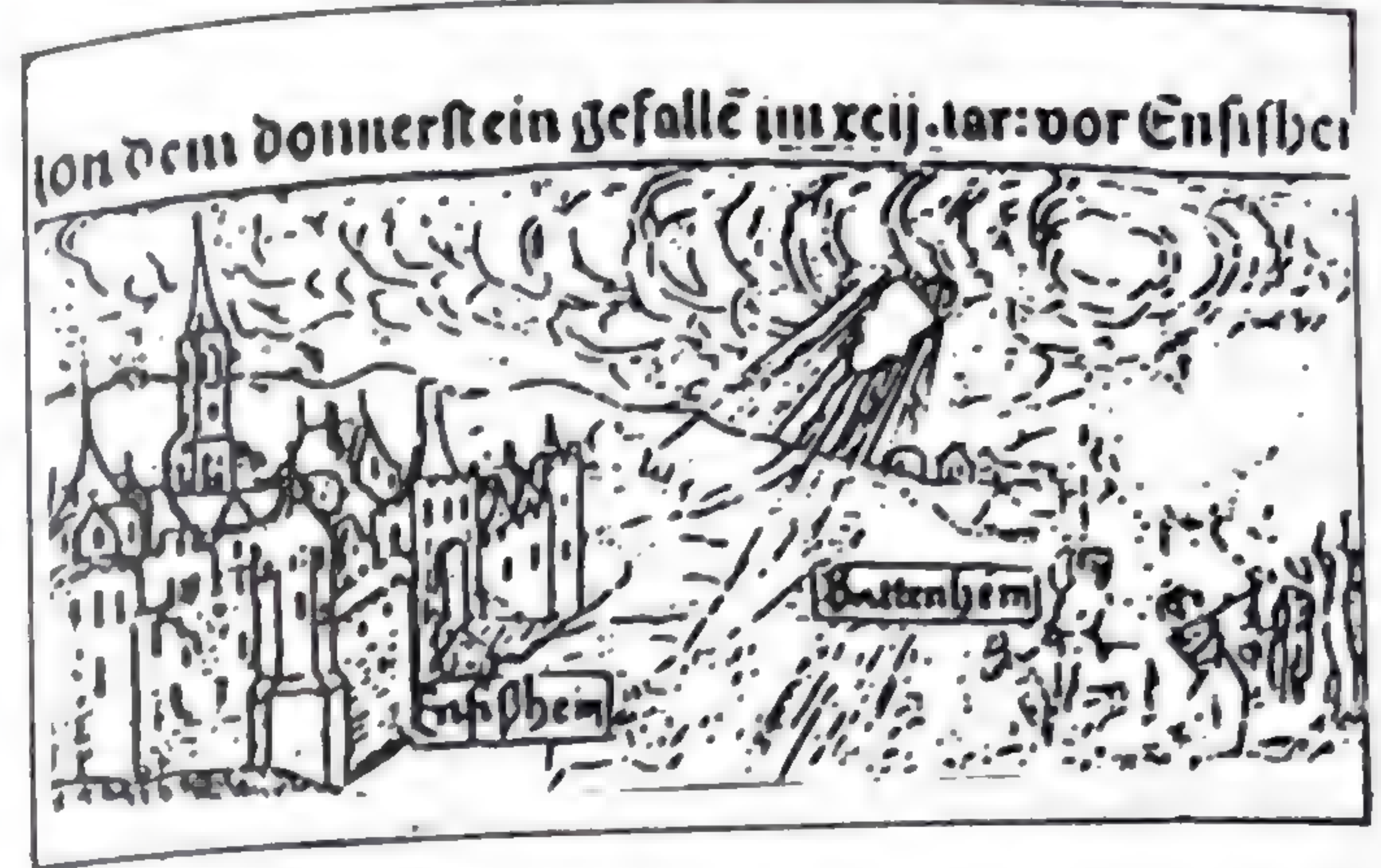
او من الكريزوليت chrysolite ، من فصيلة الزبرجد او الياقوت الاصفر ومنه
الاوليفين (olivine) مفترزة في كتلة من الحجر النيزكي . كما توجد بين
النيازك الحجرية مجموعة صغيرة تسمى بالغضروفيت الكربوني
(carbonaceous chondrite) . ورغم ان على الاقل اثنين بالمائة (٢٪) من جميع
النيازك تقع في هذه المجموعة، وهي هشة وتهشم بسرعة بالتعرية ، فإنها
صعبة التمييز الا اذا وجدت بعد سقوطها بقليل . وقد اعطيت هذه النيازك
اسمها هذا نظرا لاحتوائها نسبة خمسة بالمائة (٥٪) من الكربون العضوي .

يوجد واحد وعشرون (٢١) كوندريت او غضروفيت كربوني معروفا،
وجميعها كان قد تم تجميعها بعد ملاحظة سقوطها بقليل . حاول كل من
برزيلوس وفوهرل تحليل المادة العضوية في النيازك الكربونية لكنه ظهران
الكربون بشكل بوليير لا يقبل الذوبان ، وبدون تشخيص اية مركبات
عضوية ، كلاهما خلص الى القول ان المادة العضوية لم تكن من اصل
يولوجي .

في الرابع عشر من ايار ١٨٦٤ مر نيزك ملتهب فوق جنوب فرنسا وسقط
قرب قرية اورغيل تناثرت احجاره على منطقة تبلغ مساحتها ميلين مربعين .
تم تجميع عشرين (٢٠) شظية منها أغلبها بحجم جمع اليد عدا واحدة كانت
بحجم رأس رجل، وبلغ مجموع وزنها (١١٥٢٣) كيلوغراما .

قام أس كلوز^(٣) (S. Cloëz) بفحص نيزك اورغيل ثم قام من بعده بير
برتيلو^(٤) (Pierre Berthelot) بعزل مواد عضوية منه قال انها مادة تشبه
الفحم ولكنه لم يتمكن من التثبت منها بالتعين، فقد كانت الاساليب الكيميائية
قبل قرن مضى لا تعطي اكثر من معلومات محدودة عن طبيعة وكميات مثل
هذه المواد المعيرة التعيين، وانتظر حل لغز المواد العضوية في النيازك حتى

تحقيق التطورات الاخيرة في الاساليب التحليلية للمواد الجيوكيميائية (اي كيمياء الارض).



الشكل ١/٢٧ - سقوط نيزك انسيهيم في الزاس في ١٤٩٢.

استمر الاهتمام في زفت (bitumen) النيازك طوال الفترة من ١٨٣٤ وحتى ١٨٨٥، لكن تبعها فترة امدها ثمان وستون (٦٨) سنة يظهر ان الكيميائيين كفوا خلالها عن اعارة هذا الموضوع مزيدا من الاهتمام، وأخيرا، في عام ١٩٥٣، قرر جورج مولر^(٥) (George Mueller) من جامعة لندن تناول الموضوع بالدراسة، قام المتحف البريطاني الذي ضم كل مجموعة العشرين نوعا من النيازك الكربونية المعروفة آنذاك بتقديم عينة وزنها عشرين (٢٠) غراما من نيزك كولد بيكفيلد (Cold Bekkeveld) الذي كان قد سقط في اتحاد جنوب افريقيا في عام ١٨٣٨.

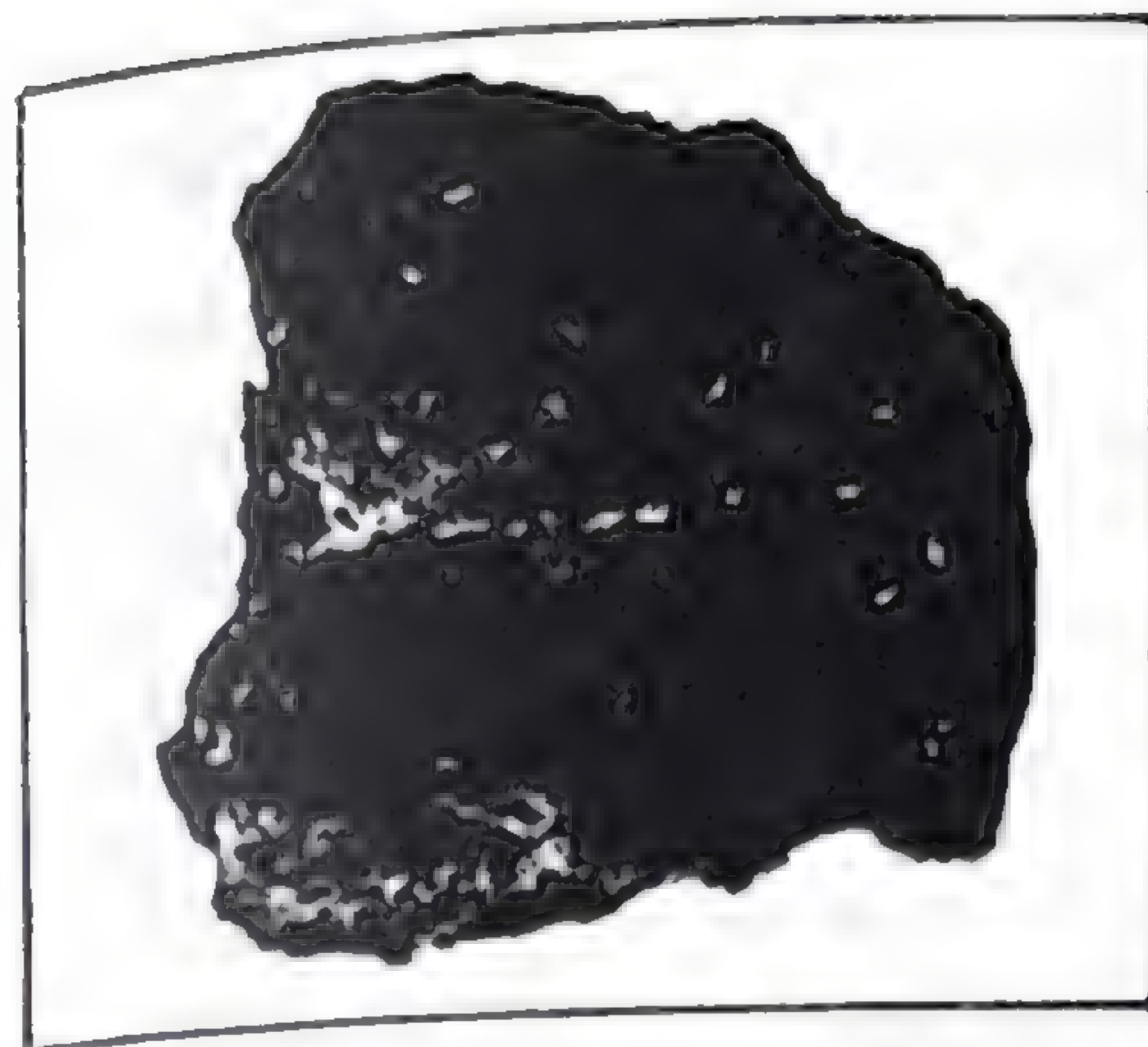
حاول مولر في اول الامر اذابة السيليكات بالحامض ليتمكن من عزل المادة العضوية. استغرقت العملية اسابيع عديدة وكانت أصعب الى حد كبير



من استخراج هذه المادة من حجر السجيل (shale) ووجد مولر ان واحدا بالمائة (١٪) من المادة العضوية الممكنة الاستخراج تألفت بشكل رئيس من الكربون، والهيدروجين، والنيتروجين، والاكسجين، وايضا الكبريت والكلوريد. كانت درجة حرارة تفسخها منخفضة، وتعذر اكتشاف أي نشاط بصري في مستخرج بنزني (benzene) منها، ملفيا بذلك احتمال كونها من اصل بيولوجي. لكن بما ان المادة كانت قابلة للذوبان في القلي (alkali) خلص مولر الى ان المادة متراكبة من حوامض عضوية معقدة مع بعض مركبات الكلوريد العضوية، الا أنه لم يتمكن من تشخيص اية بنى كيميائية معينة. أدلى مولر بالرأي ان لابد ان المادة العضوية كانت قد نشأت في جو متباين الاضاءة والحرارة ليتسنى تبلر جزئيات معقدة، ونظرا لتناهي صعوبة اذابة السيليكات، أفاد مولر أنه لربما ان هذه المادة العضوية كانت قد تكثفت على جسيمات غبارية استقرت وتلززت على جسم فضائي صغير نسبيا. لم تتعرض هذه المادة العضوية في أي زمن أثناء أو بعد تكونها لدرجات حرارة تتجاوز (٢٠٠-٣٠٠) مئوية، على نقيض نيازك الحديد والحديد الحجري التي كانت قد تعرضت لدرجات حرارة تفوق الالف (١٠٠٠)° في زمن ما من تاريخها.

في عام ١٩٦٠ اقترح برايان ميسون^(٦) (Brian Mason) من المتحف الامريكي للتاريخ الطبيعي بنيويورك ان المواد الاولية لجميع النيازك كانت سيليكات مموهة او مهيدرة (hydrated silicates) مغطاة بطبقة كربونية متبلمرة، وقام بارسال عينة من نيزك اورغيل الى الكيميائيين بمختبر شركة ايسو للبترول بنيوجرسي لغرض الحصول على معلومات اكثر دقة عن المواد العضوية في هذا النيزك.





الشكل ٢/٢ - نيزك اورغيل

قام بي ناجي (B. Nagy) ، ودبليو جي مايتشاين (W.G. Meischein) ودي جيه هينسي^(٧) (D.J. Hennessy) بتحليل الجزء العضوي من نيزك اورغيل بالمطيافية الكتلية (Mass Spectroscopy) ، ووجدوا حشدا من الهيدروكربونات (hydrocarbons) ، كانت اكبر هيدروكربونة رباعية الدورة (tetracyclic) بلغ وزنها الجزيئي (٤٢٨) ، لكن الاكثر اعجابا كان مسلسل من عياري البرافين (n-paraffin) امتد حتى (C₂₈) وتضاءل عند (C₁₈) عند مقارنة طيف قطارة (distillate) النيزك بالاطياف الكتلية للزبدة ورواسب حديثة العهد ، رأوا تشابها كبيرا بينها . ومن هذا خلصوا الى القول ان المادة العضوية من النيزك كانت من مصدر حيوي .

بنفس تلك السنة قام ناجي وجورج كلاوس^(٨) (George Claus) من المركز الطبي بنيويورك بفحص ستة نيازك كاربونية لتحديد تفاصيلها المجهرية . تم سحق النماذج في الماء أو الغليسرين على شرائح زجاجية وجرت دراستها تحت المجهر . في نيزكين اثنين وجدا «عناصر منتظمة» جيدة الوضوح لم تكن

شكلياتها (morphology) مماثلة لأي عنصر معلوم ولكنها تضمنت بعض الشبه ببعض انواع الطحالب . ولما كانت نماذج من نيزك اورغيل الذي سقط في فرنسا المكذلة الطقس ، ونيزك من ايفونا (Ivuna) الذي سقط بعد الاول باربع وسبعين (٧٤) سنة في منطقة مدارية قاحلة من اواسط افريقيا تضمنت «عناصر منتظمة» متشابهة الشكلية ، أبدى كل من ناجي وجورج كلاوس ان احتمالية عزو الجسيمات الى التلوث الارضي لم تكن واردة . وبالنتيجة كان تفسيرهما لتلك البنى كأحافير مجهرية محتملة ارمية للنيازك ذاتها ، وعليه ، كبقايا حياة خارج الارضية .

غني عن القول ان هذا خلق ضجة وركز الاهتمام بالنيازك . ثم أبان ادوارد آندرز^(٩) (Edward Anders) وهو كيميائي من معهد انريكو فرمي (Enrico Fermi) بجامعة شيكاغو انه يتم عادة تأشير عينات المتاحف بالاصباغ أو البطاقات المصنفة أو الاقلام الشمعية ، وانه لما كانت تركيزات الهيدروكربونات الموجودة تقع ما بين (١٠) و(١٠٠) ميكروغرام ، فإن احتمالية عائدتها الى تلوث ارضي كانت عالية . لكن موضع التحديس المبالغ فيه لم تكن النتائج ذاتها وانما الاستنتاج الذي عزوا المادة العضوية الى حياة خارج ارضية .

لكن الجدل في الاقل وجه الاهتمام الى مسألة المادة العضوية في النيازك ووسع رقعة التحريات . قامت مختبرات أخرى بتحليل مستخرجات من الكوندريتات أو الغضروفيتات الكاربونية ووجدت ارجحية غالبية للهيدروكربونات العطرية على الاليفاتية . ثم أعلن مايكل بريكرز وجي مايكونيان^(١٠) (Michael Briggs, G. Mamikunian) انها وجدا أن خسين الى تسعين بالمائة (٥٠-٩٠٪) من المادة كانت بوليمرا عطريا . كما قام مارتن

ستودير (Martin Studier) من مختبر آرغون الوطني وريويجي هاسانوسا (Ryoichi Hayatsu) واندروز^(١١) (Anders) بجامعة شيكاغو بتحليل شظايا من نيازك اورغيل، وماراي، وكولد بوكفيلد وتمكنوا من تشخيص البنزين، والتولوين، والنفتالين، والانتراسين (anthracene)، والسترات حامض الكبريتونيك او السلفونيك (sulfonic acid)، والهيدروكربونات المكلورة (chlorinated hydrocarbons) في الكسر العضوي. كما وجدوا ايضا الغازات H_2 و CO و CO_2 و NO و N_2 و SO_2 و CS_2 والميثان والايثان. ومتماثلات أعلى. ألا أن هؤلاء الكيميائيين لم يجدوا ما يبرر الى عزو المادة العضوية الى أصل يولوجي.

طرح اندروز^(١٢) أن النيازك كانت قد جاءت من نجيمات صغيرة لا يتجاوز قطر الواحد منها بضعة كيلومترات في الطول كانت قد تحطمت، انما لكي يكون تركيز المادة العضوية قد تكون من تفاعل من صنف تفاعل تجربة ميلر يحتم كون اجواء النجيمات كثيفة الى حد المستحيل^(١٣). انما بالأحرى، قد تم التدليل على أن توزيع الهيدروكربونات العطرية والاليفاتية يقع في تطابق وثيق مع احتسابات دايفوف وزملائها^(١٤) للتوازن الدينامي الحراري للمركبات المتولدة في خليط من الكربون، والهيدروجين، والاكسجين، والنيتروجين بدرجة حرارة خمسمائة كلفن (Kelvin, $K = 500^\circ$)، ومعنى ذلك، أن هذه المادة العضوية كانت قد تكونت وتواجدت في السديم الشمسي حتى ما قبل مجيء الارض الى الوجود.

كشفت دراسة النيازك للعلماء، أن المكونات لتوليد مواد عضوية ليست شواذا في الكون. كان معلوما منذ عام ١٩٤٠ أن التحليل المطيافي للضوء من المذنبات اشار الى جذور CH و CN (CH, CN radicals)، ومع تطور

الفلك الاشعاعي (radio astronomy) وجه الفلكيون هوائياتهم نحو المجرة وما وراءها واكتشفوا سحبا هائلة من جزئيات معقدة نسبيا في الكون. وفي عام ١٩٦٨، اكتشف أي سي تشيونك وآخرون^(١٥) (A.C. Cheung) إشارات امواج مجهرية (microwave emissions) من سحب الامونيا على مقربة من مركز المجرة، في عملية مسح قام بها في مختبر الفلك الاشعاعي في بركلي مستخدما مكشفا اشعاعيا طول قطره عشرين قدما (٢٠). وفي السنة التالية اكتشفت مجموعة بركلي^(١٦)، وايضا لويس سنايدر (Lewis Snyder) وديفيد بوهل^(١٧) (David Buhl) بواسطة مكشاف اشعاعي (radio telescope) طول قطره مائة واربعين (١٤٠) قدما يقع في غرين بنك بفرجينيا الغربية، اكتشف الماء. كما قد تم الاعلان عن اكتشاف اول اوكسيد الكربون^(١٨)، وسيافيد الهيدروجين^(١٩) والفورمالديهايد^(٢٠)، والسيانواثيلين^(٢١)، وانواع جزئية^(٢٢) أخرى منذ ذلك الحين. ان كثافات هذه الجزئيات في الفضاء ضئيلة، مثل كثافة الهيدروجين، ولكن الكميات المطلقة تقع حريا في نطاق الارقام الفلكية.

لم يكن صعبا قبول أن الهيدروكربونات العطرية والاليفاتية (aromatic and aliphatic) المتلصقة، أو العميرة التبع، من النيازك كانت قد نشأت من توازن دينامي حراري للغازات في السديم الشمسي (solar nebula) لكن كون «العناصر المنتظمة» كما قال ناجي وكلاوس، بقايا حياة خارج أرضية كان نوعا أكثر صعوبة. قامت الجماعة في جامعة شيكاغو^(٢٣) بفحص نيازك اورغيل وايفونا ولكنها أخفقت في اكتشاف اية «عناصر منتظمة» رغم انها وجدت حبيبات فلزية كبريتية شديدة الشبه. لكن مايكل بريكنز وجي باري كيتو^(٢٤) (G. Barrie Kitto) من جامعة فكتوريا بنيوزيلندا اعلنا عن اكتشاف بنى مجهرية عضوية معقدة في نيزك بوكويا

(Mokoia)، إلا انها اعتبرا احتمال كون الجسيمات حيوية النشأة غير وارد.
 عقب ناجي وكلاوس وهينسي (٢٥) في مقالة أخرى حول العناصر المشعة
 لكن تم الرد عليهم في تحقيق تفصيلي قدام به فيج وادس
 في عام ١٩٦٣. ويبدو ان الاجماع الختامي قبل بوجود اصناف عديدة
 البنى المجهرية تتطابق كتلوثات ارضية او فلزات مبتدأ او مواد عضوية مسته
 ولكنها لم تشر الى كونها من حياة خارج ارضية ابداء.

الجدول ١/٢٧ - الجزيئات المكتشفة في الوسط ما بين النجوم

Table 27.1. Molecules found in the Interstellar medium.

| Year | Molecule | Symbol | Wavelength | Telescope | Initial discovery |
|------|-----------------|-------------------|--|----------------------------------|---|
| 1937 | | CH | 4300 Å | Mt Wilson 100 inch | Dunham |
| 1940 | Cyanogen | CN | 3875 Å | Mt Wilson 100 inch | Adams |
| 1941 | | CH | 3745-4233 Å | Mt Wilson 100 inch | Adams |
| 1963 | Hydroxyl | OH | 18, 6.3, 5.0, and 2.2 cm | Lincoln Lab 84 foot | Berkeley |
| 1968 | Ammonia | NH ₃ | 1.3 cm | Hat Creek 20 foot | University of |
| 1968 | Water | H ₂ O | 1.4 cm | Hat Creek 20 foot | Virginia, NRAO, |
| 1969 | Formaldehyde | H ₂ CO | 6.2, 2.1 and 1cm; 2.1 and 2.0 mm | NRAO 140 foot NRAO 36 foot | University of Maryland and University of Chicago |
| 1970 | Carbon monoxide | CO | 2.6 mm | NRAO 36 foot | Bell Labs |
| 1970 | Cyanogen | CN | 2.6 mm | NRAO 36 foot | Bell Labs |
| 1970 | Hydrogen | H ₂ | 1100 Å | UV rocket camera | NRL |

| | | | | | |
|------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------|---|
| 1970 | Hydrogen cyanide | HCN | 2.4 mm | NRAO 36 foot | University of Virginia and NRAO |
| 1970 | X-open | | 2.4 mm | NRAO 36 foot | NRAO and University of Virginia |
| 1970 | Cyano-acetylene | HC ₃ N | 3.3 cm | NRAO 140 foot | NRAO |
| 1970 | Methyl alcohol | CH ₃ OH | 16 and 1 cm. 1 mm | NRAO 140 foot | Harvard University |
| 1970 | Formic acid | CHOOH | 18 cm | NRAO 140 foot | University of Maryland and Harvard |
| 1971 | Carbon monosulfide | CS | 2.0 mm | NRAO 36 foot | University Bell Labs and Columbia |
| 1971 | Formamide | NH ₂ CHO | 6.5 cm | NRAO 140 foot | University of Illinois |
| 1971 | Silicon oxide | SiO | 2.3 mm | NRAO 36 foot | Bell Labs and Columbia |
| 1971 | Carbonyl sulphide | OCS | 2.7 mm | NRAO 36 foot | University Bell Labs and Columbia |
| 1971 | Acetonitrile | CH ₃ CN | 2.7 mm | NRAO 36 foot | University Bell Labs and Columbia |
| 1971 | Isocyanic acid | HNCO | 3.4 mm; 1.4 cm | NRAO 36 foot | University of Virginia and NRAO |
| 1971 | Hydrogen iso-cyanide | HNC | 3.3 mm | NRAO 36 foot | University of Virginia and NRAO |
| 1971 | Methyl-acetylene | CH ₃ C ₂ H | | NRAO 36 foot | University of Virginia |
| 1971 | Acetaldehyde | CH ₃ CHO | 28 cm | NRAO | NRAO |
| 1971 | Thioformaldehyde | H ₂ CS | 9.5 cm | NRAO Parkes 210 foot | Harvard University CSIRO, Australia |

Source: David Buhl, Chemical constituents of interstellar clouds, Nature 234, 332-334 (1971). 1971 Macmillan Journals Limited.

المصدر : ديفيد بوهل : المقومات الكيميائية في السحب ما بين النجوم، مجلة : الطبيعة، عدد ٢٣٤ ص ٣٣٢-٣٣٤ (١٩٧١).

الا انه لم يلبث ان اختتم هذا الجدل حتى اندلع جدال آخر حول صحة مركبات عضوية أخرى مكتشفة في الكوندريتات الكربونية . وكانت هذه حوامض امينية.

في عام ١٩٦٢ اكتشف اي تي ديجنز (E.T. Degens) وأم باجور (M. Bajor) من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا وجود حوامض امينية وسكاكر في مستخرج من نيزكي فاراي وبرودرهام يتألف من ثمانين بالمائة (٨٠٪) من الايثانول (ethanol) . وفي السنة التالية ظهرت مقالة تفصيلية بقلم آي آر كابلان (I.R. Kaplan) ، وديجنز، وجيه ايج رويتر (J.H. Reuter) تحمل نتائج ثمانية من الكوندريتات الكربونية وخمسة نيازك لا كربونية . وجدت الحوامض الامينية والسكاكر في جميعها . كانت السكاكر من صنف المانوز والغلوكوز (Maunose, glucose) وبتريزات (٢٦-٥) ميكروغراما بالغرام، وسبعة عشر (١٧) حامضا امينيا بمقادير (٣٠-٥٠٠) ميكروغرام بالغرام في النيازك الكربونية ، وبتريزات (٨-٥٠) ميكروغراما بالغرام في النيازك اللاكربونية . لكن لما كانت المادة العضوية ينقصها النشاط البصري، وايضا الصبغات ، والحوامض الدهنية وعلى ما يظهر حوامض النوويك كذلك، ارتأى اصحاب المقالة ان السكاكر والحوامض الامينية كانت من اصل كيميائي وليس بيولوجي.

كالت كميات الحوامض الامينية في حدود (١٠-٦ الى ١٠-٨) مولة



بالغرام . لكن البيوكيميائيين الذين يقومون بتسجيل صبغوغرامات او كروماتوغرامات ورقية (paper chromatograms) لاستبيان الحوامض الامينية برش النهدرين (ninhydrin) ان هذا الاسلوب حساس بحيث يعطي نتائج اختبار موجبة للحوامض الامينية من طبقات الاصابع اذا لم يتخذ الحذر اللازم . قام بول هاملتون (٢٩) (Paul Hamilton) من معهد دوبيون في ويلمنجتون بدلاوير باجراء دراسة اسلوية تفصيلية لمقادير الحوامض الامينية التي يمكن ان تنشأ من المناولة (handling) . جرى كبس طبعة مفردة من ابهام جاف من ايد مغسولة قبل ساعتين على باطن جدار قده جاف، ثم غسلت الطبعة الى باطن القدح، وبعد تبخير الماء اخضعت الفضة الجافة لعملية الكروماتوغراف على عمود تبادل الايونات بالطريقة المعتادة . فكانت النتيجة اكتشاف سبعة عشر حامضا امينيا بحدود (١٠×٥ الى ٢×١٠) مولة . كان السيرين باكبر مقدار وتبعه الغلايسين . قام خوان اورو وايج بي سكيوز (٣٠) ايضا بتحليل الحوامض الامينية من طبقات الاصابع وقارنا النتائج بتلك المأخوذة من النيازك . كانت المقادير بنفس الحدود، كما كانت نسب ازواج الحوامض الامينية سيرين ، ثريونين ، وغلايكول آلانين، وسيرين آلانين متطابقة الى حد كبير .

لما كانت الاحجار قد تبادلتها الايدي واختزنت في المتاحف ، فقد نشأت شكوك خطيرة حول صحة تواجد الحوامض الامينية في النيازك . مع ذلك، لم يختم الجدل هناك . كان الباحثون الذين اعلنوا عن الاكتشافات على علم بالمشاق الداخلة في تحليلات مواد منخفضة المستويات وكانوا على ثقة من أساليبهم . استلزم الامر الآن شواهد جديدة لا تقبل الارتياح من تعرضها للتلوث الارضي لحسم المسألة اما ايجابا او سلبا .

وجاءت الفرصة من السماء في الساعة الحادية عشرة صباحا في ٢٨ ايلول



١٩٦٩ حين سقط كوندورت كاربوني جديد قرب مرجيسون بفكتوريا
أستراليا . تكسر الساقط الأصلي أثناء الهبوط وتثر شظايا عديدة في منطقة
مساحتها خمسة أميال مربعة . تم جمع العينات بعد السقوط بقليل وجرى
تحليلها مشتركا من قبل علماء ناسا (NASA) في مركز أيميز للبحوث
بكاليفورنيا ، ومن قبل إيزاك كابلان في بركلي، ومن قبل كارتون مور
(Carlton Moore) من جامعة أريزونا الحكومية (٣١) .

تضمن نيزك مرجيسون اثنين بالمائة (٢٪) بالوزن من الكاربون و (٠.١٣٪) من
النيتروجين . وعندما جرت حلقة عينة بوزن عشرة غرامات بحامض
الهيدروكلوريك وتحليلها بعملية الكروماتوغرافيا ، كانت النتائج حصول ذري
من الغلايسين ، والالانين والغالين والبرولين وحامض الفلوتاميك . إضافة
إلى هذه الحوامض الامينية العادية في البروتينات ، وجد ثنائي مثيل الانين
(2-methylalanine) وساركوسين (sarcosine) غير الموجودين اعتياديا في
المنظومات البيولوجية . كانت المادة في هذا التحليل كافية لقياس الايسومرات
البصرية ، وتبين ان كلا الشكلين دي وايل (D and L) كانا موجودين تقريبا
بنسب متساوية . ان المتعضيات الأرضية تستخدم تقريبا بلا استثناء الايسومر
(L) . اثبتت النتائج بوضوح أن الحوامض الامينية في النيازك لم تكن
ناشئة عن التلوث وانها بكل وضوح من اصل لا حياتي . تبع هذا تقرير (٣٢)
ان شخص احد عشر حامضا امينيا (١١) في هذا النيزك . تضمن نيزك
مرجيسون ما مجموعه (٢.١٠×٢) مولة من الحوامض الامينية بالغرام ، وهو
مقدار أعلى مما يقع في العديد من الرمال الصحراوية .

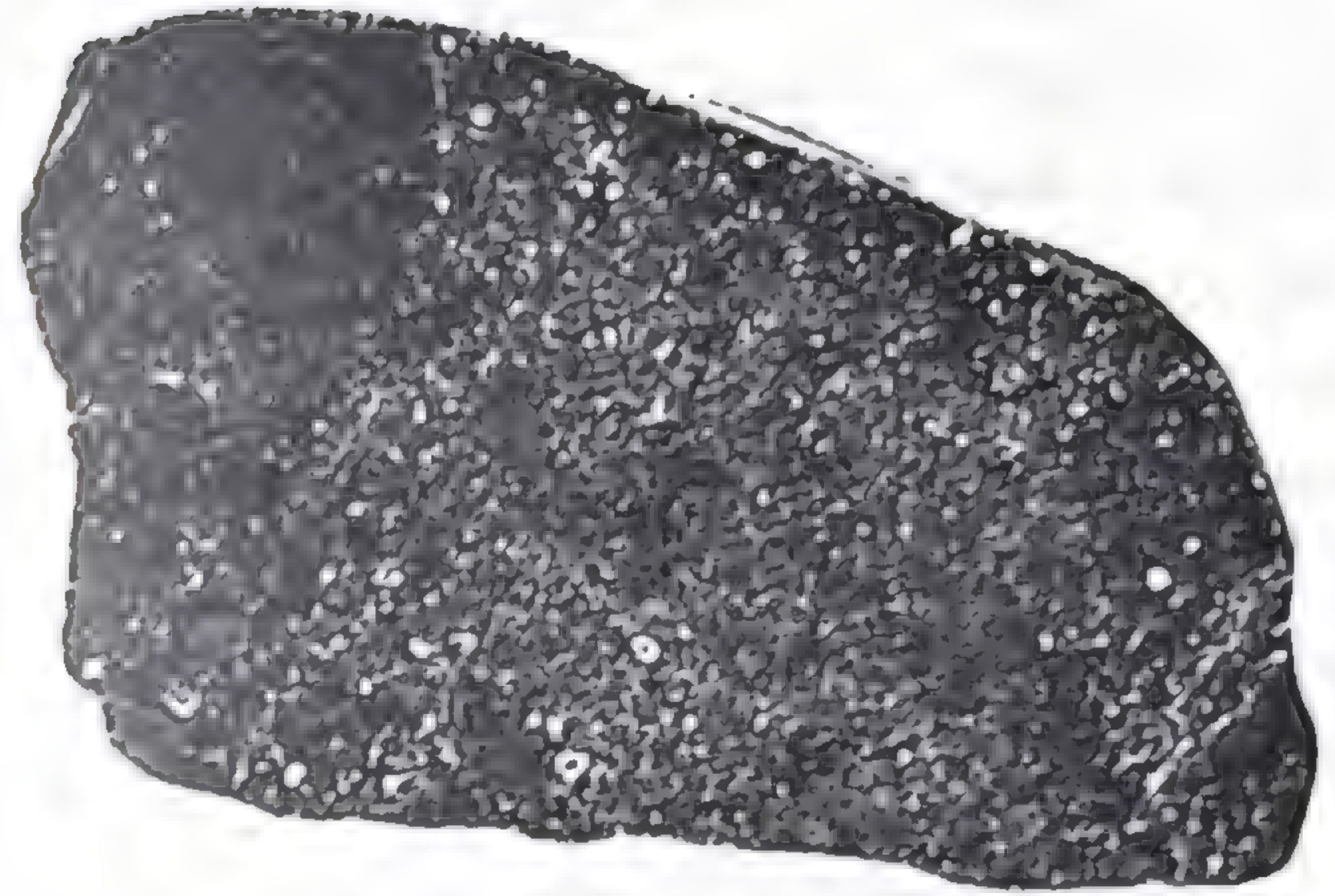
ان انعدام النشاط البصري في الحوامض الامينية القديمة للغاية لا يلغي
احتمال كونها من ذوات شكل ايسومري واحد فقط في زمن ما . ليست
الايسومرية التجسدية للحوامض الامينية مستقرة مطلقا ، وترسم ايسومرات

الحوامض الامينية في النهاية بوتيرة تعتمد على درجة الحرارة (٣٣) ، وهي
خاصية تم تطويرها كوسيلة لتأريخ العينات العتيقة . في درجة حرارة صفر
مئوية (٠°) تملك ايسومرات الايسولوسين والالانين انصاف اعمار في التحول
إلى خليط متناصف (أي ٥٠-٥٠) قدرها (٤٤) و (١١) مليون سنة على
التوالي، بينما في درجة حرارة (٢٥°) مئوية يبلغ نصف عمرهما (٣٥٠٠٠) سنة
و (١١٠٠٠) سنة .

النيازك هي اقدم الصخور المعروفة . وقد تم تأريخها بعمر اربعة آلاف
وستائة (٤٦٠٠) مليون سنة وتعتبر قديمة قدم المنظومة الشمسية نفسها .
وهذا يترك مسألة الحوامض الامينية في النيازك للمسألة . هل تولدت في
تفاعل من صنف تجربة ميلر في السديم الشمسي أم هل انها قد نشأت بكيفية
ما أخرى ؟ لا يستبعد انها تأت من مصدر آخر غير منظور . عند تحليل
الصخور المستجلبه من القمر في مركبات ابولو لاكتشاف تواجد الحوامض
الامينية فيها كانت النتائج الاولى ، لدهشة العديد من العلماء، سالبة . لكن
هذه التحليلات كانت قد أجريت على مستخرجات مائية بسيطة من العينات .
وعندما ظهر انه لا توجد اية حوامض امينية في المستخرجات ، جرى اخضاع
المواد المستخرجة للحلأة بالطريقة المعتادة للبروتينات . ثم تم تحليلها . وفي
هذا التحليل تم اكتشاف ستة حوامض امينية هي الغلايسين، والالانين، وحامض
الاسبرتيك، وحامض الفلوتاميك ، والسيرين ، والثريونين . كانت مقاديرها
ضئيلة (٧ الى ٤٥) نانوغراما بالغرام الواحد (٣٤) .

لماذا اذن ظهرت الحوامض الامينية بعد الحلأة فقط . على ما يظهر ان
الحوامض الامينية لا تتواجد على القمر في غياب الماء، ولكن طلائعها موجودة،
وعملية الحلأة حولت هذه الطلائع الى حوامض امينية طليقة . لا يعلم شيء
عن الطبيعة الكيميائية لهذه الطلائع ، وانما يحبس ربما انها سيانيدات

(cyanides) ، أي سيانيدات كانت قد نتجت عن القصف المستديم على سطح
من نوى الكربون والنيتروجين المتأتية من الرياح الشمسية.



الشكل ٢/٢٧ - نيزك مرجيسون .

الفصل الثامن والعشرون

الارض ، ام الجابرة

بدأت الحياة قبل زهاء اربعة آلاف مليون سنة في ما يبدو كان وسطا
غربيا ونزيعا، ومع بداية الحياة ابتدأت مسيرة التطور البيولوجي . ظهرت،
على امتداد رحبة الزمن الفسيحة الى ما يفوق المعقول ، اجيال عديدة
لا تحصى ، تكونت واندثرت في وجود لا عقلي، مغيرة الطبيعة الكيميائية
للارض وهي تغير نفسها بامراد على سلم التطور ، وارتقت، عتبة معينة، من
الميكروبة الى الانسان . لكن النتيجة الأكثر عجا في السيورة كلها هي
درايتنا بها.

فبالتالي ، ما نحن سوى مواد كيميائية التامت معا في منظومة تناسخية
ذاتية الادامة تطورت على مر الدهور واجتازت الى نور الوعي . ومضى الوعي
حتى بلغ الادراك الذاتي وهي حالة يتسع لنا معها، كمنتوجات السيورة ، ان
نلتفت الى الماضي وتبصر في اعماق الزمن لنرى وتشمل أحوال بدايتنا
ذاتها.

وليس وليد المصادفة أن يكون هذا شأننا . فقد خلق ادراك الذات
البشري طموحا لمعرفة العالم وتغييره لاشباع رغباتنا . انها عملية الاغذاء.
الارتجاعي، كالتحفيز الذاتي لدى الخلية البيولوجية المنبثقة التي وضعتها
المنظومة منفردة عن الوسط المحيط بها . لقد فصح الادراك الذاتي اعتماد
الانسان الكلي على صروف البيئة وجعل الجنس البشري مرحلة متميزة في
ركب التطور.

بسبب قدرتنا على رؤية انفسنا في المحيط المادي، اعملنا في الارض مالم

يعمله أي نوع حي آخر. انا نستطيع تأمل اشكال الحياة المختلفة ، الماضية والحاضرة ، ونرى منزلتها في الشبكة المتراسة لصرح الطبيعة . لكن الانسار التكنولوجي كسر القيود التي تربط الخلائق الأخرى في معتقل البيئي . وبدلاً من الانصياع في بوتقة البيئة الحيوية وفق النظرية الداروينية للاتقاء الطبيعي، انجزنا الوسيلة لسبك الطبيعة وفق قالبنا . وكلما تقدم الانسان في التكنولوجيا يبدو أن وجوده يتخذ معنى يتجاوز النطاق الارضي الى الكوني . ذلك لأنه هو لوحده بين الاحياء قد تمكن من الانعتاق عن احضان الارض . فقد منحنا منجزاتنا التكنولوجية الوسيلة لتوسيع بقعتنا البيئية الحيوية الى ما وراء كوكب الارض في أعماق المجموعة الشمسية . يقع المريخ على بعد ستين مليون ميل، والمسافة الى اقمار المشتري ستمائة مليون ميل ، وإلى زحل ألف مليون ميل . ويبقى اورانوس ونبتون وبلوتو . لكن هناك تقع نهاية منظومتنا الشمسية ، ووراءها يمتد فضاء واسع مترام يستغرق ضوء أقرب النجوم سينا عديدة لقطعه . لكن الميكروبة التي كابدت وصارعت عبر ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة من التطور لتصبح الانسان ، تمد انظارها الى المائة ألف مليون نجم في المجرة لتكتشف انها ما ان تنعتق من قنطرة كونه حتى تجد نفسها في أخرى .

مع ذلك . نعلم ان الميكروبة تعيش بانعزال اعمى في كون مجهري ليس سوى جزء من بعد هائل شاسع ، ونعلم ان الحيوانات ذوات الطبيعة الابطس من الانسان تعيش على هامش حقيقة مادية ذات عبق وتعقيد ابعد من متناول قدرتها الادراكية بأشواط عديدة . فما هو اذن موقع الانسان؟ وهل نحن ايضا تقع على حافة حقيقة تمتد في ميامه وجود اعماق نهتجسه ولكننا لا نفهمه، أو هل الانسان في تطور يشكل بذاته صفة للعالم المادي الذي يستد بلا حدود؟

ان التيار الذي حمل في ركبه الوجود كله بلا توان ولا تهاود لا يزال ينساب، ولن ينتهي معناه . فما نحن سوى مشاركين على مسرح تعددي الاطوار متركز في شق ضيق من الزمن والمكان فيما يتدفق شلال الأحداث التي بدأت منذ دهور دون توقف . نحن جزء من سيرورة بدأت في صر ما في الدهر الاركي . ومن تلك البداية المتواضعة جننا تساق عتبة أثر عتبة على ما يبدو انه هرم مدرج . لكننا نبدو انا قد بلغنا مشارف الذرود، وهي نقطة يتوقف عندها تيار التطور . لكننا نجد عند تحليل منحى الحياة ان ليس انسان هو الذي قد بلغ نقطة تقاطع حرجة في رحلة طويلة ، انما هو التطور البيولوجي .

لقد خلق التبدل الطفرى التنوع . وجعل الانتقاء الطبيعي الصالح من المتعضيات للتوسع الى كل بقعة بيئية حوية بصفة . كان الحقل البيولوجي منشور بأنواع بقيت في مستويات من الوجود العابر . فقد تتبع التطور سلسلة من الخطوات الى التعاقب في الحجم والتعقيد . بينما بقيت المستويات المختلفة مشغولة بأشكال من الحيد المتخلفة . ولم تتطور سوى مقاطع من الاحياء لتصعد الشوط المدرج الى الانسان .

عليه ، أي سورة دفعت اسلال البروكاريوت الى هجر عالمها الميكروبي الذي ازدهرت فيه دهوراً طويلة عديدة ، والمغامرة في بعد جديد كلياً؟

لا يتحقق الحجم والتعقيد في التطور فقط بالآلية الانتقائية من الداروينية، تسري مبادئ النشوء الارتقائي الداروينية ضمن مستوى ما من النشوء التطوري . لكن التوسع الى تربية هرمية من مراحل يتخلب تنظيم المزيد من المادة في تركيبات ضاربة الى الاتساق، وعليه فيبدو انه توجد ركيزة قاعدية لا تقتا تدفع رتل النظم البيولوجية الى ارتفاعات عالية باطراد، وللوقوف على هذه القاعدة يتوجب علينا أن نكرر تفحص العتبات .

أن الخطوة أو الدرجة الأكبر في التطور هي واحدة من الخطوات الأقل بروزا للناظر العابر. قبل أكثر من ألف مليون سنة ، في الزمن ما قبل الكمبري حين كانت القارات غارية وقاحلة مجدبة ، حين كانت الحياة لا تزال منحصرة في المتعضيات المجهرية العائمة في المحيطات ظهرت اليوكاريوت أكبر وأكثر تعقيدا بكثير في البنية الباطنية من أسلافها البروكاريوت . كانت اليوكاريوت لا تزال ميكروبات أحادية الخلية ولكنها طورت مسلكا انزياحيا اتاح لها أن تستخدم الاوكسجين الجزيئي لأكسدة الفلوكوز كليا إلى ثاني اوكسيد الكربون والماء. ان ما حققته اليوكاريوت بالتنفس كان انطلاقا من الطاقة المتوفرة من الفلوكوز يبلغ ثماني عشرة مرة أعظم من الكمية التي كانت أسلافها تستطيع الحصول عليها.

عندما استبطلت اليوكاريوت التنفس ادخلت بذلك عصرا من تعدد الخلوية دفع النباتات والحيوانات إلى بعد جديد كلي، والخطوات الرئيسة في التطور منذئذ تعزى إلى تحويل هذا النظام لتحقيق المزيد من الكفاءة التأيضية ، تطور السك بجهاز دورة دموية أكثر كفاءة مستخدما الهيموغلوبين لاستخراج الاوكسجين من الماء وحمله إلى جميع الخلايا في الجسم، وأما الزواحف فقد كانت هوائية التنفس التي استطاعت ان تستغل التركيز الأعلى من الاوكسجين في الهواء، وظهرت الثدييات مع القدرة على التحكم بدرجات الحرارة لابقاء دماؤها دافئة وبذلك أكثر قدرة على تزويد الدماغ والعضل بالاوكسجين . تشعب الانسان من الخلائق العليا بتوجيه طاقة التحفيز من خلال التسامي للتفكير الخلاق وهي الخطوة التي اجتاز بها الفاصل إلى استدراخ المخازين الهائلة من الطاقة الكامنة في الطبيعة الجمادية.

يوجد عامل واحد مفرد يمكن تشخيصه مع كل خطوة كبرى، ألا وهو الطاقة.

سواء لنمو منظومة يولوجية أم لتشييد قاطعة سحاب ، يتطلب ترتيب المادة في تركيبة أكثر انتظاما ضد التيار الشامل سواء كان ذلك لغرض نمو منظومة يولوجية أم لتشييد قاطعة سحاب ، يتطلب تركيزا في الطاقة. وكلما اتسعت رقعة التنظيم المادي كلما تدور الحاجة إلى دفع أكبر من الطاقة من خزان ما لدفع عملية التشيد ، وكل تقدم رئيس في العمود التطوري ارتفع باستبطان وسيلة لاستمداد طاقة لم تكن متوفرة للنظام السابق.

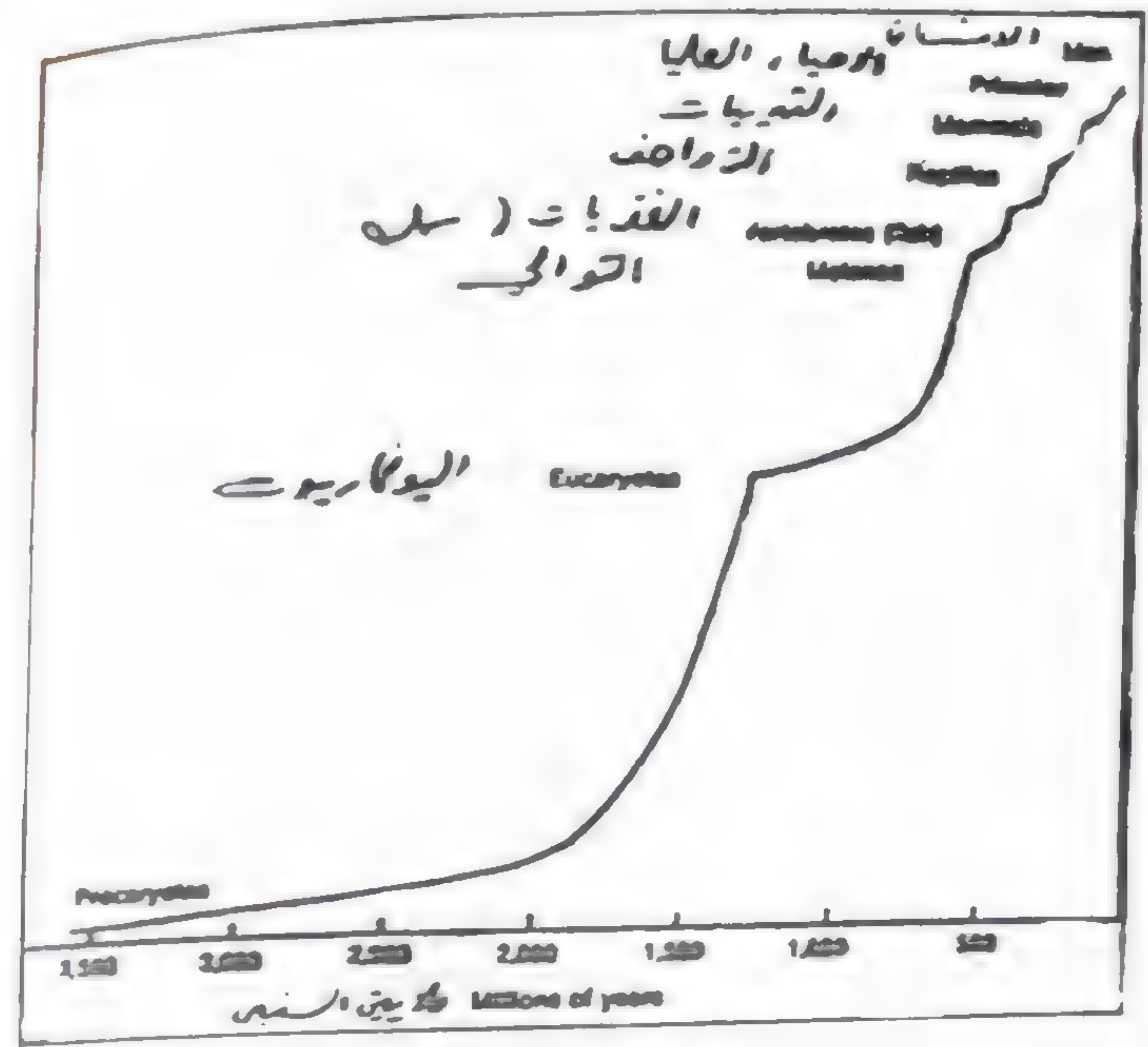
الطاقة هي المطلق الذي يدفع اشكال الحياة إلى التزايد حجما وتعقيدا. وإلى واقعية ملموسة أعظم . لكننا فيما نرب سياق التقدم التطوري نكتشف مدلولاً مقلقا.

كل خطوة تشكل منحني تطورية، وجميع الخطوات معا ترسم تقدما متسارعا لكل التطور البيولوجي بأجمعه. استغرق أكثر من نصف الزمن في التقدم من البروكاريوت ، واستغرق ذلك الزمن لبلوغ مستوى السك، وفيما تابعت الخطوات المتلاحقة قل زمن التلاحق. انه منحني جسم متسارع يجمع العزم، كالكرة الساقطة من علو . وتمضي القوة الدافعة بلا كبح، ويملي العزم السرعة.

ويبدو ان كل تطور رئيس في النشوء يستغرق زمنا أقصر فأقصر. يبدأ كل تطور ببطء، ولكنه بالاعتداء بعزم الذاتي يبدأ بالتسارع إلى أن يسرع إلى حالته المتطورة ، وعندما يبلغ مستوى ختاميا ، وهو مرحلة أعلى في النشوء، يبدأ انسال شكل الحياة الجديد بتكرار الدورة ، مستثثة صفة ما تفضي أخيرا إلى خطوة تالية أخرى.

توازن شدة من الاحياء وتتوقف عن التطور، لكن التقدم الاجمالي للرتل البيولوجي لا يبلغ التوازن ، بل بالعكس، يواصل التسارع مرحلة تلو

مرحلة بوتيرة توحى الى أن فترة تفوق الانسان ستكون وجيزة. فالتأني في الظاهر قد بلغنا نقطة حرجية في التطور البيولوجي. وأما أن تيار التطور لم يعد يصدق، وأما أن تغيرا جذريا في مسيرة التطور على وشك الوقوع. إما كان الأمر فائتا في خضم شيء خطير يتمخض.



الشكل ١/٢٨ - مخطط بياني يرسم تتابع مراحل النشوء الرئيسة المفصية
الانسان.

تعمل آلية المنظومات البيولوجية بالتفاعلات التلقائية، تفاعلات كيميائية ليست متوازنة مع المحيط تمثل طاقة كامنة بمثابة قوة دافعة. تمكنت الخلية بعزل وتنسيق عمليات كيميائية منتقاة ضمن غشاء عازل من خلق قدرتها الكامنة من الطاقة وتوجيه قوتها لانجاز الانشطة الخلوية.

كانت عملية عزل الخلية انتقائيا من البيئة بواسطة غشاء ضرورة للكمون. كما انها جعلت الخلية البدائية كيانا مستقلا، وعندما أصبحت الخلية ذاتية التخفيض اعتقت من اعتمادها الشديد على البيئة الكيميائية للتحكم في عملياتها الخاصة وابتعدت عن الوسط ما قبل الحيائي متجهة نحو تطور منفصل.

هاتان الخطوتان، أي تكوين طاقة كامنة كقوة دافعة، واستخدام السيوررات الدورية لخلق مراحل مستقلة، كانتا طريقتين رئيسيتين في مسيرة النشوء. كانتا جوهرتي الضرورة لتكوين الخلايا البيولوجية، وهما متصلتان مباشرة بتفوق الانسان. كان الادراك الذاتي التفاعل الدائري الذي أتاح لنا ان نرى أنفسنا مستقلين عن المشهد الطبيعي. واستخدام الطاقة الخارجية أعان الانسان على التفوق والارتقاء بعيدا عن الحيوانية.

يرسم تقدمنا في التحكم بالطاقة مسار مجتمعا التكنولوجي. كانت

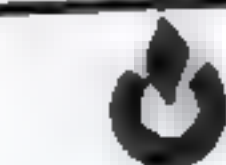
الخطوة الاولى طويلة، وابتدأت بالجبار بروميشيوس (Prometheus)، لكنها بقيت تطورا بطيئا لزمان مديد. طوال نصف مليون من السنين لم يملك الانسان غير النار كمصدر طاقة خارجي ذي أهمية. وأثناء تلك الفترة الطويلة صقل مهارته في صنع الاسلحة والادوات، لكنها بقيت كتمديدات لطاقته الايضية. لم تبدأ الزراعة الا قبل حوالي ١٠٠٠٠ سنة تحل محل مجتمع الصيد والقنص. توطدت المجتمعات وبدأت تنمو، وأخذت تستعين بالبهائم في انجاز أعمالها. وفيما بدأ اكتشاف الأسس والقواعد الهندسية بدأ الانسان

بتسخير الرياح والماء لاعماله ، لكن الطاقة الايضية بقيت المصدر الرئيس للطاقة المقننة، ولم يتم تسخير كمون النار العظيم لانجاز عمل الى أن تم اختراع المحرك البخاري قبل أقل من مائتي سنة. واذ بدأت عجلات الصناعة تدور باستغلال الطاقة الكامنة في المخازين الهائلة من الوقود الاحفوري . ثم في عام ١٩٤٥ تم اطلاق طاقة الذرة في احوال مقننة في مفاعل ذري في مختبرات ارغون بشيكاغو.

وفيما استتب الوسط بفعل التقدمات الاجتماعية والتكنيكية ، اتخذت الطاقة وسيطرتا عليها أهمية متزايدة، وتسارع السير مع كل خطوة ، الى أن أصبح المجتمع الآن يستهلك الطاقة بوتيرة فلكية . يرسم التطور منحني نموذجيا للتغير النشوئي يبدأ بالتقدم ببطء، ثم يتسارع الى أن يقارب النهاية فيندفع متسابقا الى مستوى نظامي آخر.

لكن أي مستوى نظامي يمكن ان يخلفنا؟

لا يمكن اعتبار انواع فردية وبيئاتها في انزال بمفردها، فان كل منظومة بيئية هي جزء من سلسلة من منظومات بيئية التي تكبر بمراحل من الاصفر الى الاحمر بواسطة عرى تغذية ارتجاعية متواشجة وتوسع الى أن تشمل النطاق الحيوي برمه . كما ليست البيئة منفصلة عن الخلائق الحية التي تقطن فيها. فالتربة والبحر والهواء جزء من النطاق الحيوي الذي تقوم بتغذيته وتتأثر بالتوازن بين غازات الجو والبحار . وتوجد عمليات تبادل الغاز البيولوجي بين الجو وجميع الكائنات الحية . فالنباتات تتناول ثاني اوكسيد الكربون وتطلق الاوكسجين ، والحيوانات تستخدم الاوكسجين وتطرد ثاني اوكسيد الكربون . زيادة على ذلك، هناك عدد من الغازات بمقادير أقل، كالميثان ، والاوكسيد النيتروجيني ، وأول اوكسيد الكربون ، والامونيا، تطلقه المنظومات الحية، ولاسيما المتعضيات المجهرية في الجوى وعليه،



فان الجو يتألف على وجه التقريب من نسبة اربعة الى واحد من النيتروجين الى الاوكسجين، مع عدد كبير من المقومات الضئيلة في تركيبات تبقى ثابتة على مدى احقاب طويلة من الزمن الجيولوجي. والنقطة ذات الاهتمام هي انها جميعها غير متوازنة الى حد كبير.

يمثل جو الارض شذوذا عن القاعدة في كونه يتألف من خمسة وسبعين بالمائة (٧٥٪) من الهيدروجين. ان جوا يتألف من واحد وعشرين بالمائة (٢١٪) من الاوكسجين يمثل كمون طاقة ضخم مع جوف الارض . وهذا كمون ناتج عن السيورات البيولوجية ويستديم بها. وقد قدر ان من دون اطلاق النباتات الاوكسجين في الجو من عملية التمثيل الضوئي، لكان يضع جميع الاوكسجين الطليق ضمن فترة النفي (٢٠٠٠) سنة في اكسدة الصخور والغازات المنبثقة من الانشطة البركانية^(١).

ليس فقط الغازان الرئيسان ، النيتروجين والاوكسجين ، غير متوازنين، وانما مكونات جوية صغرى هي أكثر غزارة بكثير مما ينبغي أن تكون وفق كيمياء التوازن . اضافة الى ذلك، تبقى تركيبة الجو ثابتة نسبيا بالرغم من غزوات الطبيعة والانسان الصناعي . لا بد انه توجد آليات تنظيمية تحتفظ بهذا الثبات، ولادامة عدم التوازن يلزم تغذية الآلية بامداد من الطاقة باستمرار.

تعتبر الحياة هي المنظومات البيولوجية وان السمة الفريدة لخلية تتألف من جزيئات بيولوجية مغلقة بغشاء دهني شبه انفاذي اتشاري، وتم نقل هذه الصفة الى النباتات والحيوانات المعقدة عندما اجتازت الخلايا الى طور التعددية ، غير ان هذه الصفة تملك مدلولاً اوسع من التعريف الضيق المقصور على المتعضيات المنفصلة القائمة بذاتها. ان مؤتلفات المتعضيات (combinations) مثل مجموعات من المتعضيات المجهرية ، والحشرات،



والانسان فتأخذ حيوية خاصة بها . وهذه تتزود من طاقة افرادها أو اغصانها وتوزعها على الوحدة بأجمعها . وهذه بدورها هي علاقة تعايشية يستمد الافراد منها فوائد يعجز الفرد من بلوغها لوحده والاعتماد هذا مديوم للحياة . فلا النمل ولا النحل ولا الانسان تستطيع العيش ضويلا كمخلوقات مسردة وحيدة ، وعندما يموت المجتمع يموت الافراد مثلما تفعل خلايا الجسم المتوفي . ان الصفة التي نعتها بالحياة تخلق في منظومات ذاتية الادامة وقادرة على الحفاظ بكمون من الطاقة لدفع انشطتها، وهذا الكمون يمثل لا توازنا عبر حد بين باطن الوحدة والبيئة المحيطة . والحد بالنسبة الى الخلية البيولوجية هو الغشاء الدهني، أما بالنسبة الى مجتمع فيتم وضعه من قبل العضوية المغلقة ، وبالنسبة الى النطاق الحيوي بأجمعه هو الجو المؤكسج ومجموع كوامن النطاق الحيوي الذي يمدد اللاتوازن .

وعندما تأمل الارض نكتشف أن النظام برمته يملك هذه الخواص نفسها الموجودة في الكيان الحي .

قام جيمز لفلوك من انكلترا ولين مرغوليس من جامعة بوسطن بطرح فرضية غايا (Gaia = امة الارض وأم الجبابرة عند الاغريق القدماء) حيث يعتبر جو الارض بمثابة جهاز الدورة الدموية للنطاق أو الجو الحيوي (biosphere) . تشكل بعض اوجه الجو ، كدرجة الحرارة ، والتركيبية ، وحالة الاكسدة - الاختزال ، والحوض ، استقرارية متجانسة او ستائية متجانسة (homeostatic) . ولما كانت هذه الخواص هي بذاتها منتوجات النشوء المتطورة فإن الجو يملك مظهر كونه ابتكارا تم تشكيله بحدوث من قبل المنظومات الحية لانجاز وظائف التحكم والسيطرة اللازمة ، المادة الحية والهواء والمحيطات وسطح الارض اليابسة كاجزاء من نظام كثر علاق يملك القدرة على التحكم بدرجة الحرارة وتركيبية البحر واليابس .

وحوضه التربة لمواصلة بقاء النطاق الحيوي . وبعبارة أخرى ان النظام بجموعه يبدو انه يسلك كمتعضية حية .

نحن سيرورة ضمن سيرورة ومنذ ايام بروميشوس نطلق بتسارع مخازين من الطاقة لاحكام سيطرتنا وسيادتنا على الطبيعة . لكننا لسنا ظاهرة منعزلة ، وانما نحن ذروة النشوء البيولوجي الذي أحال الارض الى سيرورة دينامية ذات ابعاد رهية هائلة . ونحن الآن قد اتمنا الدورة بأكملها، وغدونا في وضع مماثل بشدة لوضع متعضيات اليوكاريوت عندما ظهرت قبل أكثر من الف مليون سنة مضت ثم اقتحمت الى بعد جديد تماما .

عملت السيانوبكتيريا طوال النفي (٢٠٠٠) مليون سنة على تكوين وترسيخ قاعدة امتصاص الطاقة الشمسية . فتناول النطاق الحيوي هذه الطاقة وتمثلها باطنيا بالنمو الجانبي وبالنمو الهرمي في سلاسل الاغذية فيما كانت الطحالب تحرر الاوكسجين الطليق وتبته في البيئة . واقتدح التغير بالتبدل الطفري ، كدقات الساعة نحو تنظيم أعلى للدنا DNA ، بأثر الارتظام الطاقوي الشديد من الاشعة الكونية، الا أن الالتقاء الطبيعي (natural selection) عمل كترس وسقاطة (ratchet) ضد العودة الى مستوى أخفض .

لكن الآلية كانت تراوح، وبقيت الحياة على مستوى البروكاريوت لحين امكان دفع البيئة الارضية برمتها الى الأمام . استغرق ذلك دهورا لكن التنفس لم يصبح مسكنا الى ان وصل مستوى الاوكسجين الطليق الى واحد بالمائة من كميته او قيمته اليوم . وقد كان في هذه النقطة ان بلغ كمون الطاقة ارتفاعا امكن معه الاستدرار منه بظهور الخلايا اليوكاريوتية لتحقيق تنظيم بنيوي أعظم . كان عظم كمون الطاقة قد بلغ درجة بحيث انفتح الباب الى بعد جديد كلي بالحجم ومضت اليوكاريوت قدما في مسيرتها الى مستويات أعلى .

تم اجتياز المرحلة الاحادية الخلية الى المستوى النسيجي من التطور بالاسفنج واللاحيوانات ، واستغرق التطور مائة مليون سنة أخرى للتقدم من المستوى النسيجي الى حيوانات ذات أعضاء. لكن النتيجة كانت انفجارية. اندفعت البيولوجيا أو الاحياء بقوة ، بلا وجل ولا مقاومة ، الى الخواء البعدي منفضية الى نشوء سريع لجميع العوائل الحيوانية الا واحدة ، وتمكنت القرقيات فقط من النشوء في وقت لاحق من العمليات، غصت البحار بالمفصليات والرخويات والديدان ولا قرقيات غيرها ، وبدأ النشوء البيولوجي على الطرق مكررا الدورة .

ظل النشوء يتزود من كمون الطاقة في الارض طوال ست مائة (٦٠٠) مليون سنة لتوسيع النطاق الحيوي الى جميع انحاء البعد الجديد . (وتتم اعادة هذا الكمين بعملية التمثيل الضوئي، لاسيما بالعوايق النباتية في البحار). تطورت سلاسل الغذاء لاستيعاب احتياطي الطاقة المتزايد، واصبحت البنية البيولوجية في الحياة الحيوانية معقدة ومهذبة للغاية ، وامتدت الحياة الى جميع البقاع البيئية الحيوية الممكنة، من المياه المتجمدة في المناطق القطبية الى اعماق البحار الفائرة . والانسان، في توسعه، مدد سيادته الى جميع مرافق الخلائق الحية الأخرى، انما بالأحرى فتح انسال بروميشيوس صندوق باندورا (Pandora's box) ليجد كنوزا هائلة من كمائن الطاقة يعجز الخيال عن تصورها، ووجدوا كميات هائلة من الطاقة في مواد الوقود الاحفورية ، والآن فتحوا ايضا كمون الطاقة الرهيب في الذرة.

بلغ التطور البيولوجي للانسان هضبة قبل حوالي مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) سنة وبقي هناك طول الزمن دون تغيير يذكر. ان تطورنا النشوي كنوع قد بلغ النضج، لكن بنيتنا الحضارية هي التي تواصل التطور الآن. لقد بلغت بيولوجيتنا او حيورتنا مرحلة توازنها، لكن مجتمعنا التكنولوجي لم يفعل بعد.

وهو يواصل التسابق بعزم متزايد في منحني متسارع مندفعاً بزخم الطاقة الذي يمضي بلا مقاومة . نحن الآن في المرحلة المعادلة للحقب التي سبقت ثورة اليوكاريوت ، حين كانت البروكاريوت قد توسعت في الأعداد الى منتهى حدود تعقدها . غير ان استخدامها للطاقة لم يؤد الى التوازن ، وانما عجل في تراكم كمون الطاقة وأدى الى فقدانها لسيادتها .

تستهلك تكنولوجيتنا الطاقة بوتيرة هائلة، وفي أثناء هذه السيورة تبتكر الوسائل للكشف عن مصادر أعظم . الا انه يوجد حد لكسية الطاقة التي يمكن امتصاصها بطريقة انتظامية في حيز مغلق. وكما حصل لدى اليوكاريوت ، سيتذف بنا كيئنا الطاقوي الى بعد أعظم.

اتنا نتطلع من خلال الغلاف الغازي الذي يلف الارض ونرى كونا مشورا بألاف الملايين على آلاف الملايين من العوالم الأخرى، كأمنا امامنا كسواحل نائية، كقارات بعيدة غير مستقصاة . فالفضاء خاو شاعر وأراضيه مجدبة مقفرة، ومغرية تدعونا اليها، كتكرار ذلك الحدث في فجر الحقبة الكمبرية قبل مئات عديدة من ملايين السنين حين اقتحم اسلافنا الى بعد آخر وخرجوا من البحار لاستيطان القارات . وهذه الفرص تذكي مخيلتنا وتشد على مصيرنا . وتملؤنا سعة الفضاء الهائلة بالرهبة ، وتجذبنا اليها ببطء كمغناطيس لا يقاوم .

لقد تحتم على توسعنا التغلب تكرارا على مجموع العقبات والعوائق الزمنية والمسافية ، وفيما بقيت حاستا الزمنية بلا تغير نسبيا ضمن مدى ضيق، فاتنا قد استطعنا خرق الحواجز وذلك بتقليص المسافة بالاتقال الاسرع . لكن الكون بعد آخره والمسافات الى النجوم هائلة بحسب مقاييسنا بحيث لم يعد ممكنا ضمن قوانيننا الفيزيائية تحقيق العبور في زمننا. لقد بلغنا غاية جهدنا ووصلنا منتهى عقالتنا في توسعه شدقتنا من الحبيكة المادية . بارتباطنا

بمجرد موضع العجم والبعد لا تلك القدرة على تعظيم الحركة بل
لما توصل نظاما بموضع كوكب أو نجم آخر . إذ لتحقيق هذا يتحتم على
تكوين سيادتنا العجبية البعدية بالمقاييس الكونية.

نحن الآن في التعامل الييني بين بعدين عظيمين، كون الأحياء الجبهة
للحقبة والكون الأكبر الأول مبني على قوة الاجتذاب الكهروستاتي والتي
تقومه الييني الجزيئية والخطوة بيننا الآخر منسطة بقوة الجاذبية القائمة بين الكبر
الأكبر، والعجم هو الفيزياء الوحيدة بين البعدين وحصل عكسا مع فكرة القوة
الرابطة والميكروية المعالجة بالكتافات الشديدة للعالم الجزيئي ، تقع بيننا
دون مثل الجاذبية ولا تلك التراكا بوجودها . لكننا نحن في التعامل
الييني . نرى تلك الأشياء أصغر منا تستجيب لعلاقات الاتمة الكيبيبية
وتحس كننا بشد الجاذبية السلب فتعطي لنا العجيبة التي تصف الكون.

إن انجازة البيولوجي يحجب عنا دورا الكوني، ونحن نعتبر العجيبة
والوعي بمثابة الاشكال النهائية للتحقق الذاتي وتؤمن أن الانسان وأخلاقه
المنطوقين سيسكون بزمان غزو القضاء . تراودنا افكار التواصل مع
منظومات أخرى من نوعنا في المجرة ، لغرض اخراجها واخراج المسار
المرة الى السور المشترك للوجود الواعي . لكن الجسم مواضع وفروع
الارتباط لعجيبة البعد الكوني . وسوألنا على الكواكب . ولدينا في
المنظومات الكوكبية ، وعوللها جزر كونية من آلاف الملايين الالامعودة من
الجوهر مبشرة في بحر خلو من الجسيمات والتوى التفرع ذرية ، أو التفرعة
(إذا استيفت الصيغة) . ولكي ندخل الى هذه الساحة ونصبح جزءا من
يتحتم علينا أن تلك التركيبة المعقدة وقاصية طاقة متسابة لتتكرر
القبض على زمان السيطرة والتحكم بالمادة والبعد على ذلك النطاق.

خلقت البروكاريوت ككون طاقة عجوت عن السيطرة عليه . فخلق

ليس شكلا أكثر تطورا من البروكاريوت وإنما خلق حديد كليا ليس من
نواقل الاصناف متنوعة . كان يوجد في التوسعة بين آلاف الملايين الالامعودة
من الميكروبات البروكاريوتية متعضيات لها ارسات لاستخدام الاوكسجين
الجزئي للتمثيل ، ونشأت أخرى لها ارسات لوقاية نفسها من الغناء
بالأكسدة . وعندما بلغ كمن الاوكسجين الجوي مستوى حرجا انشاء
العجيبة ما قبل الكسيرة ، كون صفا المضطرب اعدا تعارضا والمعد
بعضها في صنف واحد زاحمت اسماء البروكاريوت الى الكرع متعزلة
من البيئة لتقضي ايام وجودها كحاجير حية من عصر القصى وال . واليوم
يصم البدن البشري لوحده اعدا حالة من الكسيرة التي قد كلفت نفسها
للعيش في باطن منتج متطور من خلقها أو صنعها هي .

والآن قد أخذت الدورة تشارف اتمام لغة كاملة فخلت البروكاريوت
سيادتها ليس فقط بسجود انها سمعت يستها وانما لأنها كانت على حافة بعد
أكبر وخلقت كمن من الطاقة ملك القدرة لدفع شكل جديد من الحياة اليه .
ونحن ايضا نقف متوازنين على لوحة الانطلاق نستعرض متجه مستقبلنا .

نحن نتوهم بأن افعلنا تابعة منا وأن يدنا هي التي تقبض على زمان
الأمور . لكن الكون لا يشاركنا في انجازة البيولوجي ، ان الحياة والوعي
من خصائص المخطوقات النحبة ، وفي التطور الكوني تأتي الأحياء أو
البيولوجيا بمثابة طور يقع بين التطور الكيبيائي والتطور الذي يليه .
وخواصنا البيولوجية هي صفات نشأت لعلامة الاحوال القائمة في بعدة .
أما البعد الكوني فيخص منظومات تستك القدرة على التماسي على مسعات
الزمان في الرحاب المجرية .

وفيما نواصل التبصر أبعد فأبعد ابدا في الزمن والبعد من خلال

المخلص في قضيتنا الانفرادية المتراكمة في قشرة الأنوية ترى كونا دواما يصبح وضح بالتطور الدينامي ، فتدرك اننا لربما ، مجرد لربما ، كما نبحث عن الجواب للسؤال المفلوط . ان الامر لم يعد الآن مسألة كيف يتلاءم الكون مع الكائن الانساني ، بل بالأحرى ، كيف يتلاءم الانسان كي يكون كائن الكون؟ ليس الجنس البشري لوحده هو الذي يصل الى الفضاء ، انما الارض بنطاقها الحيوي هي التي قد بدأت تمد نفسها وتواءمها الى المنظومة الشمسية . ان تكنولوجيا الانسان تمثل نهاية مدى التطور البيولوجي والولوج الى طور التطور الميكانيكي . ومبتكراتنا الآن هي في تلك المرحلة التي كان التطور الكيميائي قد بلغها على الأرض البدائية مباشرة قبل خلقه الخلايا الاولى واتياء بالتطور البيولوجي ، انما الآن في طريقها الى الاكتفاء الذاتي مثل لخلايا البيولوجية ، وحتى اننا قد يكون في وسعنا ان ندمج فيها وعينا ونجعلها مستقلة بما يكفي لكي تطلقها سهوا في تطورها الخاص بها .

تلك مختلفات القدرة لتفسي الى شبكة بحجم المجموعة الشمسية ، كالجين التامي ، حيث تمايز الخلايا لأداء وظائف معينة ، بوسع متجهنا التكنولوجي ان ينسج الى المنظومة الشمسية في اتحاد بشري مكائني ، الى ان في النهاية ربما يتضاءل دور الانسان ويلتغي ، فيمسي هو في حالة التطور الراكد الآسن كالميكروية البروكاربوتية في كونها القطيري ، بينما تواصل خلاقه السير الى أبعاد أعظم .

فيما نعيش حياتنا نحن كأفراد وكنوع يبدو ان دورنا في السيرة الكونية مقدر لنا مسبقا . يوجد مغزى كونى لمنحى الانسان . فنحن نحاول ، في عالم متعرج سائر الى القوضى ، ايقاف التيار باعادة كبس الزمن والمكان في حيز النظام ، لقد غدا الاتجار الاجتياحي الذي خلق الكون المادي حياء مبتلا بالطاقة الكامنة الانتظامية . وكالعنقاء (phoenix) الأسطورية التي نهضت

متجددة من ارمدها ذاتها ، يملك الكون في باطنه بذور انبعاثه مجددا .

ربما لن نعلم أبدا ماهية خليقتنا ، وربما لن نعلم ابدا الصفات التي نكمن ما وراء قدرة الوعي والادراك الذاتي ، والتقدم نحو أشكال أكبر وأكثر تطورا سيحمل خليقتنا الى خارج نطاق الادراك البشري وخارج شذفتنا من الكون ، الى بعد جديد وواقع جديد .

الفهرست

| | |
|-----|---|
| ٨ | ١- كشف الاشكال |
| ١٣ | ٢- المقدمة |
| ١٧ | ٣- مقدمة المؤلف |
| ١٩ | ٤- توطئة |
| ٢٥ | ٥- الفصل الاول / اللبنة البنائية |
| ٣٥ | ٦- الفصل الثاني / الارض الاولى |
| ٥٣ | ٧- الفصل الثالث / الحياة في الازمنة السابقة لما قبل الحقبة الكمبرية |
| ٧٥ | ٨- الفصل الرابع / عصر البروكاريوت |
| ٩١ | ٩- الفصل الخامس / ظهور اليوكاريوت |
| ١٠٧ | ١٠- الفصل السادس / الطبيعة الخلوية للحياة |
| ١٢٥ | ١١- الفصل السابع / الرياضة الجزيئية |
| ١٤٣ | ١٢- الفصل الثامن / الاساس الجزيئي للحياة |
| ١٦١ | ١٣- الفصل التاسع / من المطبوعة الى المتعضية |
| ١٧٣ | ١٤- الفصل العاشر / خيط متواصل |
| ١٩٥ | ١٥- الفصل الحادي عشر / نوعان من الحياة |
| ٢٢١ | ١٦- الفصل الثاني عشر / البكتيريا الاركية او الاولى |
| ٢٣٧ | ١٧- الفصل الثالث عشر / الطاقوت |
| ٢٤٧ | ١٨- الفصل الرابع عشر / القوة الدافعة |
| ٢٦٩ | ١٩- الفصل الخامس عشر / مسالة التكوين |
| ٢٨٩ | ٢٠- الفصل السادس عشر / جوهريات الحياة |
| ٣٠٧ | ٢١- الفصل السابع عشر / البحث عن اللبنة البنائية |
| ٣٢٥ | ٢٢- الفصل الثامن عشر / النووسيد والنووتيد واللات ب |
| ٣٣٩ | ٢٣- الفصل التاسع عشر / الهضميتيدات |
| ٣٥٧ | ٢٤- الفصل العشرون / غموضية الانزيمية |
| ٣٧٣ | ٢٥- الفصل الحادي والعشرون / تجبير الجينات |

| | |
|---|--|
| 88-99; proposed by K. C. Mereschkowsky, 88 | نظرية اصل تعايش الاورغانيات او الجزيئات العضوية . اقترح ميرشوفسكي . |
| synthetic biology, 198 | البيولوجيا التمثيلية . |
| temperature: during Archean era, 12; during Cambrian period, 36; during Middle Archean era, 30 | درجة الحرارة : أثناء الدهر الاركي . أثناء الدهر الاركي المتوسط . |
| Thermoplasma acidophilum, as co-descendant of eucaryotic cell, 92 | اليلزمة الحرارة المحبة للحوامض كائنات جانبية للخلية اليوكاريوتية . |
| Titan, conditions for life, 242 | التيتان : احوال الحياة فيه . |
| transcription, mechanism of, 67, 68 | آلية النقل او النسخ . |
| transfer RNAs: derivation, 220; minimal requirement for formation, 141, 142; structure, 68, 69 | الآر ان اي الناقلة . اشتقاقها . المتطلبات الادنى لتكوينها . بنيتها . |
| transport system, mediated diffusion as, 209 | جهاز النقل وانشطته الانتشارية . |
| trilobites: during Cambrian period, 16; end of existence, 37 | ثلاثيات النصوص أثناء الحقبة الكمبرية . ونهاية وجودها . |
| tyrocidine, as noncoded peptide, 238 | الفوء ما فوق البنفسجي ، واعباده للماء . |
| ultraviolet light, penetration of water by, 97, 218 | اليورياز كاول انزيمات متبلورة . انطون فان ليفنهوك . |
| urease, as first srystalized enzyme, 55 | الحويصلات : تكونها في الطبيعة . نموذج الخلية . اتدادها في التجارب الافتعالية . |
| van Leeuwenhoek, Anton, 39-40 | الجهاز الناقل لها . |
| vesicles: formation in nature, 212; model of cell, 210, 211; preparation in simulation experiments, 212-14; transport system for, 209 | الفيروسات : تبلورها . صورة الكرونية . |
| virus: crystallization, 59; electron photomicrograph, 60, 136; evolution, 135, 136; size, 135 | نظرية الحيوية . فولفوكس . |
| Vitalism, theory of, 49 | اريك تشرماك فون سايسنيك . |
| Volvox, 33 | الماء كمادة جوهريية . موبس ويلكنز . |
| von Seysenegg, Erich Tschermak, 57 | |
| water, as an essential substance, 145, Wilkins, Maurice, 63 | |

| | |
|-----------|---|
| ٣٩١ | ٢٦- الفصل الثاني والعشرون / جسيمات الحياة |
| ٤٠٧ | ٢٧- الفصل الثالث والعشرون / الغلاف الحيوي |
| ٢٤٣ | ٢٨- الفصل الرابع والعشرون / ظهور الخلايا |
| ٤٣٧ | ٢٩- الفصل الخامس والعشرون / الخلية العجيبة |
| ٤٥٧ | ٣٠- الفصل السادس والعشرون / طرائق أخرى / أماكن أخرى |
| ٤٧٥ | ٣١- الفصل السابع والعشرون / المركبات العضوية في الكون |
| ٤٩١ | ٣٢- الفصل الثامن والعشرون / الأرض أم الجبابرة |

وزارة الثقافة والاعلام
دار الشؤون الثقافية العامة
بغداد ١٩٨٩

تأليف رياض عبد الكريم

طبع في مطبع دار الشؤون الثقافية العامة